



**Ana Sofia Moço
de Carvalho**

**Desenvolvimento e conceção de um
purificador híbrido de ar**



**Ana Sofia Moço
de Carvalho**

**Desenvolvimento e conceção de um
purificador híbrido de ar**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Design de Produto, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Vítor António Ferreira da Costa, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e co-orientação do Mestre Paulo Alexandre Lomelino de Freitas Tomé Rosado Bago De Uva, Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Professor Doutor João Alexandre Dias de Oliveira
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogal - Arguente Principal

Doutor João Nunes Sampaio
Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Aveiro

Vogal - Orientador

Professor Doutor Vítor António Ferreira da Costa
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador Professor Doutor Vítor António Ferreira da Costa por toda a atenção, apoio e disponibilidade prestada durante o desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

Agradeço ao meu coorientador Mestre Paulo Alexandre Lomelino de Freitas Tomé Rosado Bago de Uva, pela dedicação, motivação e orientação durante todo o mestrado.

Ao Professor Doutor Fernando José Neto da Silva que me orientou nos primeiros passos do desenvolvimento do sistema, mostrando-se sempre disponível e empenhado.

À minha família amigos e namorado pelo apoio incondicional que demonstraram ao longo deste percurso e em toda a minha vida.

A todos aqueles que de alguma forma me ajudaram a ser quem sou hoje.

palavras-chave

purificador de ar, humidificador, desumidificador, qualidade do ar interior, ar condicionado, roda dessicante, lavador de gases, spray de água, eletrodoméstico de tratamento de ar interior

resumo

É cada vez maior o número de patologias associadas à má qualidade do ar. Numa sociedade industrializada, cada vez mais populosa e vulnerável, a importância dada à qualidade do ar pode muitas vezes ser menosprezada. O facto de o ar ser invisível contribui para uma maior indiferença em relação a um problema que afeta milhões de pessoas em todo o Mundo. Os mais afetados são pessoas com dificuldades respiratórias, como asmáticos ou cardíacos, alérgicos a partículas e microrganismos suspensos no ar como ácaros, pólen ou pelos de animais e crianças e idosos cujo sistema imunitário está enfraquecido.

Nesta dissertação foi concebido, projetado e desenvolvido um purificador híbrido de ar, com funções de humidificador, desumidificador e aquecedor, para uso em ambiente doméstico.

Foi efetuada uma recolha bibliográfica sobre os principais aspetos na atualidade da qualidade do ar interior. São apresentadas noções básicas dos componentes utilizados no sistema concebido, bem como os processos físicos a eles associados. Com o levantamento do estado da arte, dão-se a conhecer os produtos e as soluções existentes para o tratamento do ar interior. No desenvolvimento projetual, trabalhou-se o design do produto e selecionaram-se os componentes mais adequados existentes no mercado. Por último, é estabelecido um intervalo de condições de funcionamento do sistema proposto.

keywords

air purifier, humidifier, dehumidifier, indoor air quality, air conditioner, desiccant wheel, wet scrubber, water spray, indoor air treatment appliance

abstract

The number of pathologies associated to poor air quality is increasing. In an industrialized society, increasingly populated and vulnerable, the importance given to the air quality can many times be unattended. The fact that the air is invisible contributes to an indifference for a problem that affects millions of people all over the world. The more affected are people with respiratory disease, like asthma or heart problems, people allergic to airborne particles and microorganisms like mites, polens or animal hair and children and elderly with a weaker immune system.

In this dissertation a hybrid air purifier was conceived, projected and developed, with functions as humidifier, dehumidifier and heater, to use in home environment.

A bibliographic search about the main subjects in air quality was conducted. Basic notions about the components and physical processes associated with the conceived system were presented.

With the analysis of the state of the art, appliances in the category of indoor air treatment are analyzed.

In the project development, the product design takes place as well as the selection of the most adequate components available in the market. By last, the working conditions of the product are established.

Índice de figuras

Figura 1 - Decremento na produtividade em função da temperatura ambiente (Zhang et al., 2011)	14
Figura 2 - Diagrama do processo.....	16
Figura 3 - Tipos de padrão produzidos por diferentes bocais de spray (Ikeuchi, H & Co., n.d.)	17
Figura 4 - Bomba centrífuga (Chaurette, 2005)	18
Figura 5 - Bomba de engrenagens (DATWiki, n.d.)	18
Figura 6- Diagrama de desumidificador dessicante (Ctrltech, 2015)	19
Figura 7 - Esquema desumidificação termoelétrica (Ebay, n.d.).....	20
Figura 8 - Roda dessicante de canais triangulares organizados em forma de favo de abelha (Plastics technology, 2014)	23
Figura 9 – Módulo termoelétrico (Newman, 2007)	24
Figura 10 - Refração da luz numa gota de água (The Physics Classroom, n.d.)	25
Figura 11 - Modelo de carta psicométrica (Ogawa, 2009).....	26
Figura 12 - Purificador de ar Stadler Form Viktor (Stadler Form, 2015)	30
Figura 13 - Purificador de ar Lotus da Airfree (Airfree, 2016).....	31
Figura 14 - Humidificador Boneco U700 (Boneco, n.d.-a)	33
Figura 15 - Desumidificador Albert da Stadler Form (Stadler Form, 2013)	34
Figura 16 - Desumidificador EVD 4000 (Eva-Dry, n.d.).....	35
Figura 17 – Desumidificador Ivation IVADM 45 (Ivation, n.d.).....	36
Figura 18 - Purificador e humidificador Boneco H680 (Boneco, n.d.-b)	37
Figura 19 - Purificador de ar híbrido Robert, da marca Stadler Form (Stadler Form, 2014).....	38
Figura 20 - Público-alvo	43
Figura 21 – Diagrama de processo	45
Figura 22 - Carta psicométrica - caracterização de zonas	48
Figura 23 - Carta psicométrica - Humidificação adiabática.....	49
Figura 24 - Diagrama - Humidificação Adiabática	50
Figura 25 - Carta psicométrica - Humidificação e aquecimento	51
Figura 26 – Diagrama – Humidificação adiabática e aquecimento.....	52
Figura 27 - Carta Psicométrica - Humidificação não adiabática.....	53
Figura 28 – Diagrama de blocos – Humidificação não adiabática.....	54
Figura 29 - Carta psicométrica – Aquecimento e humidificação adiabática.....	54
Figura 30 – Diagrama de blocos – Aquecimento e humidificação adiabática	56
Figura 31 – Carta psicométrica – Humidificação e desumidificação.....	57
Figura 32 – Diagrama de blocos – Condições 3.....	57
Figura 33 – Representação do modelo em torre de altura dz (XuXiao& Wang, 2007).....	58
Figura 34 - Comparação performativa de vários bocais de spray.....	61
Figura 35 - Comparação performativa de pares de bocais de spray (sem aquecimento)	62
Figura 36 - Análise performativa de conjuntos de spray (com aquecimento).....	63
Figura 37 - Modelação bocal de spray	64
Figura 38 - Modelação bomba	65
Figura 39 - Modelação de Resistência térmica	66
Figura 40 - Esquema da roda dessicante (DongLee& Mann, 2010)	66
Figura 41 - Modelação roda dessicante	70
Figura 42 - Modelação módulo termoelétrico	70

Figura 43 - Modelação lâmpada UVC.....	71
Figura 44 - mecanismo de estanque	71
Figura 45 - Condições finais de funcionamento	73
Figura 46 - Moodboard	75
Figura 47 - Torres de arrefecimento	76
Figura 48 - Esboço de ideia inicial	77
Figura 49- Banco tam tam	77
Figura 50 - Esboços iniciais.....	78
Figura 51 - Exaustores	78
Figura 52 - versão 1	79
Figura 53 - Esboço versão 2.....	80
Figura 54 – Esboço versão 3	81
Figura 55 - Painel de controlo	82
Figura 56 - Painel de controlo, interação	83
Figura 57- Protótipo virtual.....	84
Figura 58 - Protótipo virtual vista traseira	85
Figura 59 – Protótipo virtual, vista aérea.....	85
Figura 60 - Estudo cromático	86
Figura 61 - Arquitetura do produto.....	87
Figura 62- Esquema de funcionamento	89
Figura 63 - Vista explodida	90
Figura 64 - Fotorrealismo 1	91
Figura 65 - Fotorrealismo 2	92
Figura 66 - Fotorrealismo 3	92
Figura 67 – Fotorrealismo 4	93
Figura 68 – Fotorrealismo 5	94
Figura 69 - Dimensões do bocal de spray selecionado (Ikeuchi, H & Co., n.d.)	101
Figura 70 - Imagem do bocal de spray selecionado (Ikeuchi, H & Co., n.d.)	102
Figura 71 - Dimensões da bomba selecionada (Clark Solutions, n.d.)	102
Figura 72 - Imagem da bomba selecionada (Clark Solutions, n.d.)	102
Figura 73 – Dimensões da estrutura	103
Figura 74 - Dimensões dos componentes	104

Índice de tabelas

Tabela 1 - Níveis de insatisfação em contexto europeu (Adan et al., 2007).....	3
Tabela 2 - Solubilidade dos poluentes químicos em água	10
Tabela 3 - Valores da norma europeia EN 15251 (Kontonasiou et al., 2015)	15
Tabela 4 - Especificações do purificador de ar Viktor da Stadler Form (Stadler Form, 2015)	29
Tabela 5 - Especificações do purificador de ar Lotus da Airfree (Airfree, 2016).....	31
Tabela 6 - Especificações do humidificador Boneco U700 (Boneco, n.d.-a)	32
Tabela 7 – Especificações do desumidificador Albert da Stadler Form (Stadler Form, 2013)	34
Tabela 8 - Especificações do desumidificador EVD 4000 (Eva-Dry, n.d.)	35
Tabela 9 - Especificações do desumidificador IVADM 45 (Ivation, n.d.)	36
Tabela 10 - Especificações do purificador e humidificador Boneco H680 (Boneco, n.d.-b)	38

Tabela 11 - Especificações do purificador de ar híbrido Robert da Stadler Form (Stadler Form, 2014)	39
Tabela 12 - Dados do ar nas condições 1	50
Tabela 13 - Condições 2A - Caracterização Ar (1-2)	51
Tabela 14 - Condições 2A - Caracterização do ar (processo 2-3)	52
Tabela 15 – Condições 2B – Características do ar (processo 1-2).....	55
Tabela 16 – Condições 2B – Características do ar (processo 2-3).....	55
Tabela 17 – Condições 3 – Características do ar.....	56
Tabela 18 - Capacidade de vários bocais de spray em função da pressão (Ikeuchi, H & Co., n.d.)	101

Nomenclatura

a	altura do canal (m)
a_v	área de contacto volumétrica ($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$)
A	área de secção transversal (m^2)
b	largura do canal (m)
c	espessura de parede do canal (m)
C_p	calor específico a pressão constante ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)
D_{ab}	coeficiente de difusão mássica ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)
D	diâmetro (m)
D_h	diâmetro hidráulico (m)
dm	taxa de transferência de massa (kg s^{-1})
dq	taxa de transferência de calor (J s^{-1})
f_m	fração de massa de dessicante na roda
FN	número de fluxo
h	entalpia específica (J kg^{-1})
hc	coeficiente de transferência de calor por convecção ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$, J s^{-1})
k	condutividade térmica ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)
k_h	coeficiente de transferência de massa (m s^{-1})
Le	número de Lewis
l	comprimento axial do dessicante (m)
M	massa molar (kg kmol^{-1})
m	massa (kg)
\dot{m}	caudal mássico (kg s^{-1})
Nu	numero de Nusselt
P	pressão (bar)
P_c	pressão crítica (bar)
Pe	perímetro (m)
P_{ot}	potência térmica (W)
Pr	número de Prandtl
Q	calor (J)
Re	número de Reynolds
Sc	número de Schmidt
Sh	número de Sherwood
T	temperatura ($^{\circ}\text{C}$, K)
t	tempo (s)
u	velocidade (m s^{-1})
W	conteúdo de água no material dessicante (kg água/ kg dessicante)
X	humidade absoluta, em base seca (kg água/kg de ar seco)
Y_w	humidade absoluta do ar em equilíbrio com o dessicante (kg água/kg de ar seco)

z	altura da torre (m)
ρ	massa volúmica (kg m^{-3})
λ	condutividade térmica ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)
μ	viscosidade dinâmica ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$)

Subscritos

a	ar seco
c	crítico
d	gota
g	gás
i	interface
j	ponto nodal
l	líquido
p	processo
r	regeneração
v	vapor de água
w	dessicante

Índice

Índice de figuras	i
Índice de tabelas	ii
Nomenclatura.....	v

PARTE I - Enquadramento teórico

1. Introdução	3
1.1 Motivação e Objetivos	3
1.2 Contribuições esperadas	4
1.3 Organização do trabalho	5
2. Revisão Bibliográfica	7
2.1 O Ar em espaços interiores	7
2.1.1 Poluentes, fontes de poluição e doenças associadas	7
2.1.2 Solubilidade dos poluentes químicos em água	10
2.1.3 População vulnerável	10
2.1.4 Edifícios energeticamente eficientes	11
2.1.5 A qualidade do ar interior em Portugal.....	11
2.1.6 Regulamentação de condições de conforto térmico	14
2.2 Estudo dos componentes do sistema	15
2.2.1 Bocal de spray	16
2.2.2 Bomba hidráulica	17
2.2.3 Métodos de desumidificação	19
2.3 Princípios físicos do sistema.....	21
2.3.1 Purificação	21
2.3.2 Humidificação.....	22
2.3.3 Desumidificação	22
2.3.4 Desinfecção.....	24
2.3.5 Arco-Íris	24
2.4 Carta psicométrica	25

PARTE II - Estado da arte

3. <i>Benchmarking</i>	29
------------------------------	----

PARTE III - Desenvolvimento Projetual

4. Desenvolvimento Concetual	42
4.1 Requisitos do Sistema	43
4.2 Público-alvo	43
4.3 Definição de conceito.....	44
4.4 Descrição do sistema.....	44
5. Estudo e aplicação de componentes existentes no mercado	47
5.1 Câmara de spray - Purificação e humificação	58
5.2 Bomba – Fornecimento de água em pressão aos bocais de spray	64
5.3 Resistência de aquecimento – Aquecimento de água	65
5.4 Sistema de desumidificação – Roda dessicante.....	66
5.5 Sistema de desumidificação – Módulo termoelétrico	70
5.6 Anel de luz UVC – Desinfecção de Ar.....	71
5.7 Mecanismo de estanque no reservatório de água	71
6. Avaliação de desempenho	73
7. Design	75
7.1 <i>Moodboard</i>	75
7.2 Forma	76
7.3 Painel de controlo	82
7.4 Prototipagem virtual	83
7.5 Estudo cromático	86
7.6 Arquitetura do produto.....	86
7.7 Funcionamento do sistema.....	88
7.8 Vista explodida	90
7.9 Fotorrealismo	91
8. Conclusões e sugestões de trabalhos futuros.....	95
9. Referências Bibliográficas	97
10. Anexos.....	101

Parte I – Enquadramento Teórico

1. Introdução

1.1 Motivação e Objetivos

Apesar de uma maior sensibilização para os malefícios provocados pelos fumadores em espaços fechados, as recomendações para a qualidade do ar estão maioritariamente orientadas para a poluição no exterior (Koistinen et al., 2008). No entanto, em países desenvolvidos, as pessoas passam cerca de 80-90% do tempo em espaços interiores (Ginja et al., 2012), sendo este valor superior para grupos mais vulneráveis, como crianças e idosos (Adan et al., 2007).

Existe alguma falta de consciencialização para a importância da qualidade do ar interior no bem-estar e saúde da população. De facto, as concentrações de poluentes no ar interior como compostos aromáticos e carbonilos são por vezes 2-5 vezes superiores às encontradas no ar exterior, chegando a atingir valores 100 vezes superiores. Fatores de alteração da qualidade do ar incluem, por exemplo, o mobiliário ou carpetes, sendo o problema agravado pelo decrescente hábito de arejamento das habitações, escritórios, salas de aula, etc. (Franchi et al., 2006).

De acordo com todos os fatores mencionados anteriormente, no ano 2000 a Organização Mundial de Saúde declarou como direito fundamental que (World Health Organization, 2000):

“..todos têm o direito de respirar ar interior saudável”

Uma boa qualidade do ar interior não se traduz apenas na ausência de poluentes, mas também noutros fatores como temperatura ou humidade, estando estes fatores relacionados com o bem-estar da população (Adan et al., 2007). De acordo com estudos efetuados, quantificaram-se os níveis de insatisfação em contexto Europeu, como resumido na tabela 1.

Tabela 1 - Níveis de insatisfação em contexto europeu (Adan et al., 2007)

	Insatisfação	Efeitos na saúde
<i>Temperatura</i>	50% Insatisfeitos com o conforto térmico	Doenças respiratórias, frio, doenças da garganta, desidratação
<i>Humidade</i>	25% (bolor em mais de uma divisão) 8% (cheiros, humidade)	Doenças respiratórias, asma, alergias
<i>Qualidade do ar (geral)</i>	10% Insatisfeitos	Fadiga, depressão, ansiedade, problemas respiratórios

A maioria da população não está consciente dos riscos associados à má qualidade do ar interior nas suas casas (Franchi et al., 2006), passando a maioria das vezes despercebida ou sendo desvalorizada.

Nos últimos 15 anos, os casos doenças alérgicas e respiratórias quase duplicaram, sendo as doenças crónicas mais comuns em crianças. Uma má qualidade do ar interior contribui para originar e agravar estas doenças (Franchi et al., 2006).

Segundo (Franchi et al., 2006) existem cinco tipos de ações que devem ser postas em prática, com vista à melhoria da qualidade do ar interior:

- Melhorar a ventilação e o aquecimento
- Controlo da humidade e bolor
- Melhorar métodos de limpeza e higiene
- Evitar pavimentos com carpete
- Controlo de fontes de poluição (e.g. fumo de tabaco e mobília)

O objetivo deste trabalho é a conceção de um produto híbrido, inovador capaz de prover de ar saudável espaços interiores, com especial atenção à relação entre o design do produto e o utilizador.

Assim, o equipamento foi concebido e projetado para várias funções como purificar, humidificar, desumidificar e aquecer o ar ambiente interior.

1.2 Contribuições esperadas

Com a investigação bibliográfica inicial, espera-se alertar a população para o problema de saúde pública associado à qualidade do ar interior a que todos estão mais ou menos sujeitos, incitando-os a alterarem os seus hábitos em prol de um ambiente interior mais saudável para todos.

Pela análise de mercado, dão-se a conhecer as soluções existentes. Por fim, elabora-se uma proposta inovadora que vai ao encontro da pesquisa inicial, constituindo a solução mais completa.

Com a conceção deste produto, espera-se também dar ênfase à componente de design, geralmente negligenciada em equipamentos de tratamento de ar, como se poderá observar no capítulo sobre o estado da arte.

1.3 Organização do trabalho

Numa primeira fase é realizada uma pesquisa bibliográfica com vista ao conhecimento de assuntos relacionados com o ar interior, como o estudo dos poluentes e consequências de uma má qualidade do ar, população mais vulnerável e regulamentação existente, entre outros.

A restante recolha bibliográfica é centrada nos equipamentos, fazendo-se um estudo de componentes possíveis e princípios físicos envolvidos.

O estado da arte dá-nos a conhecer o panorama atual no mercado de aparelhos de ar para utilização doméstica.

Na fase de desenvolvimento projetual é definido o produto, suas formas e componentes.

É efetuada uma avaliação da capacidade, para definição das condições ideais de funcionamento.

Por último, são apresentadas conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 O Ar em espaços interiores

Nas páginas seguintes é explorado o tema da qualidade do ar interior nas suas vertentes mais importantes, analisando-se os poluentes, regulamentação existente e alguns estudos efetuados em Portugal.

2.1.1 Poluentes, fontes de poluição e doenças associadas

Existem inúmeros poluentes, provenientes do exterior ou do interior dos edifícios. Quando em baixas concentrações podem ser inofensivos; porém, isso nem sempre se verifica.

Dos inúmeros poluentes químicos encontrados em espaços interiores, existem alguns que requerem mais atenção, pelo facto de serem mais comumente encontrados em concentrações prejudiciais à saúde, e estando comprovados os seus efeitos nefastos. Segundo um estudo efetuado em 2008 (Koistinen et al., 2008), são enumerados os principais poluentes do ar interior:

Formaldeído, H_2CO

O mais irritante de todos os poluentes químicos considerados, o formaldeído provém essencialmente de materiais de construção comumente utilizados, como painéis constituídos por compósitos de madeira e peças de mobiliário (Liang & Yang, 2013). Estima-se que cerca de 20% da população europeia esteja sujeita a concentrações superiores às recomendadas, que podem causar irritação ocular e perceção de odores, e em maiores concentrações causar danos na mucosa nasal, sendo considerado um químico cancerígeno (Koistinen et al., 2008).

Monóxido de carbono, CO

O monóxido de carbono é mais vezes experienciado pela população em exposições de curta duração. A população não fumadora sujeita a perigosas concentrações deste químico é estimada em 10%. Ele provém de fontes de combustão (combustão incompleta) como por exemplo o fogão a gás, braseiras ou o fumo do tabaco e de veículos automóveis. Em termos de consequências para a saúde, pode ocorrer um envenenamento que, consoante a concentração inalada, pode causar sintomas idênticos a uma doença viral ou depressão, lesões permanentes e até morte. (Koistinen et al., 2008)

Dióxido de nitrogénio, NO₂

O dióxido de nitrogénio é um dos químicos mais presentes em quantidades não recomendáveis nas casas europeias. É um produto de combustão podendo, à semelhança do monóxido de carbono, provir de fontes internas ou externas às habitações. Entre as fontes conhecidas, existem os aparelhos a gás como aquecimento, fogão ou tráfego automóvel em grandes cidades (Koistinen et al., 2008). Um estudo (LangerBeköBloomWidheden& Ekberg, 2015) revelou que em países nórdicos o costume de acender velas no inverno, aliado a uma menor taxa de ventilação, contribui para a elevação dos níveis de dióxido de nitrogénio para valores tóxicos. O NO₂ é particularmente prejudicial a asmáticos, causando dano no sistema respiratório em menores concentrações. Uma exposição prolongada provoca diminuição da função respiratória em indivíduos saudáveis, e em especial em crianças (Koistinen et al., 2008).

Benzeno, C₆H₆

Contrariamente aos restantes poluentes, o benzeno é prejudicial em qualquer concentração, não existindo por isso valores recomendáveis. Ele é um químico cancerígeno, presente na atmosfera e maioritariamente antropogénico (90%). Sendo um derivado do petróleo, pode ser encontrado em muitos integrantes do interior da casa, ou dos gases libertados pelos automóveis no exterior. Os riscos associados à exposição a este químico incluem irritação das mucosas, alterações hematológicas e leucemia (Koistinen et al., 2008).

Naftaleno, C₁₀H₈

O naftaleno, mais comumente conhecido como naftalina, é um químico irritante, presente em quantidades excessivas com mais frequência nos países mediterrânicos europeus. O naftaleno é utilizado domesticamente para prevenir o aparecimento de traças, em forma de bolas de naftalina. Ele provoca anemia e irritação da mucosa nasal, podendo levar ao aparecimento de tumores (Koistinen et al., 2008).

De salientar que os químicos presentes em materiais e equipamentos constituintes dos espaços interiores perdem intensidade de libertação com o passar do tempo (Langer et al., 2015).

Além dos químicos, existem poluentes físicos, como material particulado e fibras, ou biológicos como bolor, fungos e bactérias. De seguida, descreve-se um conjunto de poluentes físicos e biológicos relevantes no contexto da poluição de interiores.

Matéria particulada

Partículas de matéria com diâmetro igual ou inferior a 2,5 µm conseguem penetrar profundamente o tecido pulmonar, causando inflamação pulmonar, e sintomas respiratórios e cardiovasculares, levando a uma função pulmonar reduzida (Mendes et al., 2015).

Este tipo de partículas, PM_{2,5} e PM₁₀, têm inúmeras fontes no exterior, nomeadamente subprodutos de combustão em zonas urbanas ou industrializadas. Em termos de fontes interiores, o fumo de tabaco, e os produtos de limpeza e combustão são as suas maiores fontes. Este tipo de poluente é especialmente preocupante nos grandes centros urbanos chineses (HuangPuLi& Sundell, 2015).

Fibras

O tipo de fibras existente no interior de edifícios pode facilmente ser reconhecido como pó. As partículas de pó ou fibras existentes nos espaços interiores são provenientes das mantas utilizadas como isolantes dos edifícios (lã de rocha, lã de vidro), e todos os tipos de fibras têxteis libertadas de fontes interiores. Este tipo de poluição pode provocar prurido na pele e irritação do sistema respiratório e olhos (Salonen et al., 2009).

Poluentes biológicos

Altamente dependentes das condições de humidade e temperatura, este tipo de poluentes com carácter biológico (bactérias, fungos, bolor), é responsável pela transmissão de doenças. O bolor presente em muitas habitações (18-50%) causa infeções respiratórias, asma, rinite, tosse e bronquite (MendellMirerCheungTong& Douwes, 2011).

Alérgenos

Algumas pessoas são sensíveis a poluentes específicos. Doentes alérgicos quando expostos a alérgenos (pelos de animais, pó, pólen, fungos, bolor etc.) sofrem de asma e irritação das mucosas (Franchi et al., 2006). A prevalência de doenças alérgicas tem aumentado nas últimas décadas, estando relacionadas com a deterioração da qualidade do ar interior (Koistinen et al., 2008).

2.1.2 Solubilidade dos poluentes químicos em água

A fim de perceber a relação de cada um dos poluentes químicos com a água encontrada nos equipamentos, foram consultadas as suas solubilidades, as quais se encontram reunidas na Tabela 2. (IFA, 2016)

Tabela 2 - Solubilidade dos poluentes químicos em água

Solubilidade em água pura a 20°C (mg/L)	
<i>Formaldeído, H₂CO</i>	4x10 ⁵
<i>Monóxido de carbono, CO</i>	30
<i>Dióxido de nitrogénio, NO₂</i>	Total (formação de HNO ₃)
<i>Benzeno, C₆H₆</i>	1,8x10 ³
<i>Naftaleno, C₁₀H₈</i>	32

Todos os poluentes encontrados no ar são solúveis em água. Em maior proporção temos o formaldeído e o benzeno. No caso do dióxido de nitrogénio ocorre uma reação que leva à formação de ácido nítrico, que dada a pequena concentração não representa perigo.

2.1.3 População vulnerável

Infelizmente, idosos e crianças, a parte da população mais sensível e suscetível às consequências de uma má qualidade do ar interior (Franchi et al., 2006), são precisamente os grupos que estão mais tempo sujeitos a tais fatores, dado que passam mais tempo em espaços interiores, cerca de 95% do seu dia. (Dimitroulopoulou & Bartzis, 2014)

Os idosos e as crianças, devido a baixas defesas imunes e função respiratória, correm maiores riscos de contrair doenças respiratórias provocadas por uma má qualidade do ar interior (Mendes et al., 2015) (Madureira et al., 2015).

Devemos também ter em atenção que estes grupos de risco têm valores recomendáveis diferentes dos da restante população. Por exemplo, devido ao metabolismo lento e diminuição da atividade física, a temperatura de conforto para um idoso é superior à do resto da população (25 °C no verão e 23 °C no inverno), estando mais sensível a infeções respiratórias no inverno e mortalidade associada a altas temperaturas no verão (Mendes et al., 2015).

A situação é especialmente preocupante dado que este tipo de população se encontra na sua maior parte sujeita ao cuidado de outrem (lares e escolas), que são locais de grande

densidade de ocupantes e onde as condições de conforto e de poluentes são mais difíceis de controlar.

Outros grupos de risco são os portadores de doença respiratória crónica, alergias, asma, sistema imune enfraquecido ou utilizadores de lentes de contato. De uma maneira mais específica, alguns grupos de risco podem ser afetados por um poluente em especial; por exemplo um doente cardíaco é afetado por níveis superiores de monóxido de carbono (Franchi et al., 2006).

2.1.4 Edifícios energeticamente eficientes

O tipo de construção de um edifício, e a forma como foi pensado, é um dos fatores mais importantes que influenciam a qualidade do ar interior. Uma forma de prever a evolução das condições do ar interior criadas é analisando as tendências na construção de edifícios, e consequências na concentração de poluentes e conforto térmico. Naturalmente, existe a preocupação crescente em promover ao máximo a eficiência energética dos edifícios, através de um maior isolamento térmico, estanquicidade do ar, utilização de novos materiais e utilização de técnicas de recuperação de calor. Existe um risco associado a baixas taxas de renovação do ar neste tipo de construção (Dimitroulopoulou & Bartzis, 2014), que pode levar ao aparecimento de sintomas de síndrome do edifício doente ('sick building syndrome') (Langer et al., 2015).

De uma maneira geral, este tipo de edifícios traduz-se num melhor controlo dos parâmetros necessários ao bem-estar da população. No entanto, foram neles detetados níveis superiores de TVOC, e humidade relativa abaixo dos valores recomendados (Langer et al., 2015).

2.1.5 A qualidade do ar interior em Portugal

Devido à sua situação geográfica, Portugal é abrangido por um clima mediterrânico temperado, com verões secos e invernos chuvosos.

De seguida são descritos os resultados de vários estudos efetuados em território continental, em três tipos de espaços interiores, habitações, escolas e lares da terceira idade.

Habitações (Ginja et al., 2012)

Entre 2007 e 2008, o Instituto do Ambiente e Desenvolvimento realizou um estudo com vista à caracterização da qualidade do ar interior e do conforto nas habitações portuguesas.

Neste estudo foram avaliadas 557 habitações localizadas em Portugal continental. Os compostos avaliados foram o dióxido de carbono (CO_2), o monóxido de carbono (CO), as partículas em suspensão (PM_{10}), o formaldeído (HCHO), os compostos orgânicos voláteis totais (COV), o ozono (O_3), o dióxido de enxofre (SO_2) e o dióxido de azoto (NO_2). Foram também efetuadas medições de temperatura e humidade relativa para análise dos níveis de conforto térmico.

Constatou-se que em 60% das casas visitadas pelo menos um dos parâmetros de poluentes avaliados se encontrava fora das gamas recomendadas, maioritariamente concentrações de COV, CO_2 e partículas em suspensão. Valores excessivos de dióxido de carbono foram encontrados em 7,6% das medições, estando este número tradicionalmente relacionado com baixas taxas de renovação do ar, que levam à acumulação do poluente. Em 2,3% das habitações foram registados níveis de COV superiores aos recomendados. Os valores de monóxido de carbono eram superiores aos recomendados em 50% das habitações analisadas, podendo originar sensação de irritação e desconforto. A presença de CO em doses superiores é associada a meios de aquecimento tradicionais, como braseiras.

Em termos de conforto térmico, 47% das habitações abrangidas pelo estudo tinham pelo menos uma das medições fora dos valores recomendados, sendo a temperatura inferior à recomendada em 32,2% dos casos e superior em 8,6%. A humidade relativa era inferior à recomendada em 1,3% e superior em 2,6% das medições. Dada a grande amplitude de valores encontrados ao longo do ano, conclui-se que existe pouco ou nenhum controlo sobre os parâmetros de conforto térmico nas habitações Portuguesas.

Escolas (Madureira et al., 2015)

Foi efetuado um estudo a 73 salas de aula, em 20 escolas primárias públicas situadas na região do Porto.

As salas encontravam-se altamente lotadas, encontrando-se maioritariamente ocupadas pela mesma turma durante todo o dia e ao longo de toda a semana. A ventilação era efetuada somente através da abertura de janelas, indesejável no inverno devido às baixas temperaturas exteriores.

Esta deficiente ventilação durante os meses de inverno, possibilita em grande medida o aumento das concentrações de poluentes prejudiciais, em especial a este grupo fragilizado com idades entre os 8 e os 10 anos de idade.

Em todas as salas de aula, a concentração média de matéria particulada, tanto de pequenas como de grandes dimensões ($\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10}), foi superior aos valores mínimos recomendados.

Em 48% das salas de aula analisadas, verificou-se uma concentração de bactérias superior à recomendada.

Os valores de dióxido de carbono foram superiores aos valores considerados saudáveis em 86% das salas de aula. Estes podem ser facilmente explicados pela deficiente ventilação dos espaços.

O autor cria também uma associação entre a exposição a estas condições e problemas respiratórios encontrados nos alunos.

Lares de terceira idade (Mendes et al., 2015)

Tal como as escolas, os lares de terceira idade são, na sua maioria, espaços superlotados, onde o controlo dos poluentes e conforto térmico devem ser tidos em especial consideração, dada a evidente vulnerabilidade da população que neles reside.

Num estudo efetuado entre os anos de 2011 e 2013, foram analisados 22 lares situados na área metropolitana do Porto.

Em todos os lares, e ao longo de todo o ano, foram registados níveis superiores ao recomendado de material particulado de pequenas dimensões ($\leq 2,5 \mu\text{m}$), chegando este valor a ser 3 vezes superior ao recomendado. O autor aponta como causas a contaminação exterior, a taxa de ocupação e a resuspensão das partículas, sendo conhecidas as consequências de uma exposição a este tipo de poluentes, com complicações ao nível do sistema respiratório e cardíaco.

Níveis superiores de poluentes como PM_{10} , TVOC, bactéria e CO_2 , foram detetados em salas de ocupação comum, como a sala de jantar ou de convívio, estando relacionados com uma menor taxa de ventilação, especialmente no inverno.

Outros dos parâmetros detetados foram os grupos fungi e bactéria, que afetam doentes crónicos e pioram doenças existentes. Em especial, foi detetada a presença de uma espécie genotóxica e patogénica (*Aspergillus*), que causa infeções invasivas a pessoas com fraco sistema imune. O desenvolvimento deste tipo de microrganismos só é possível em condições específicas de humidade e temperatura, sendo a sua presença devida a infiltrações e más condições de isolamento térmico dos edifícios.

As temperaturas mínimas registadas, tanto no verão como no inverno, estavam constantemente abaixo dos níveis de conforto para a população sénior, valor que se situa em torno dos 25°C . No inverno, a média da temperatura encontrava-se cerca de 5 graus abaixo do valor de conforto térmico recomendado para esta população.

2.1.6 Regulamentação de condições de conforto térmico

Para além das questões de poluição do ar interior, existe também um fator muitas vezes negligenciado que são as condições de conforto térmico. O conforto térmico não está apenas relacionado com a temperatura, ele envolve parâmetros como a temperatura e humidade relativa do ar, temperatura das superfícies circundantes, movimento do ar e taxa de renovação do ar, podendo afetar o conforto, saúde e performance dos ocupantes (Mendes et al., 2015).

Um estudo que analisa o conforto térmico num edifício de escritórios (Zhang et al., 2011), demonstraram que as preferências de cada um em termos de conforto térmico são tão pessoais, que é pouco proveitoso, em termos energéticos, dotar os edifícios de uma temperatura “ótima”. Segundo o estudo, é possível ter uma amplitude de temperaturas que deixam a maior parte dos ocupantes satisfeitos, podendo este variar consoante as condições exteriores, e assim poupar energia.

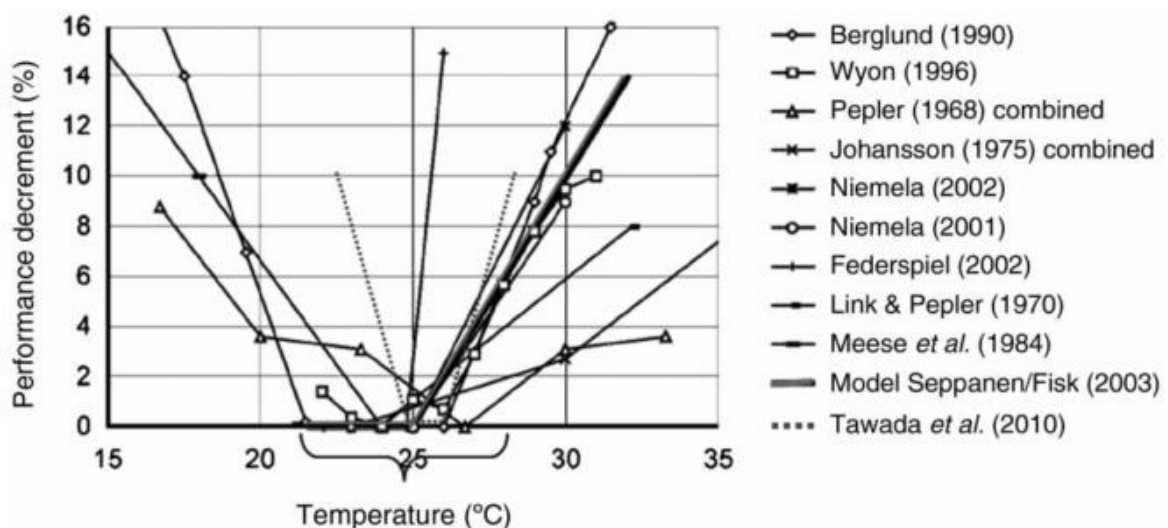


Figura 1 - Decremento na produtividade em função da temperatura ambiente (Zhang et al., 2011)

A ventilação é outro fator que influencia o conforto térmico. Um estudo detetou valores inferiores a 0,5 renovações por hora em vários países europeus. Hábitos como a abertura das janelas para ventilar a habitação foram diminuindo significativamente, associados às preocupações com consumos energéticos, maior estanquicidade dos edifícios, ausência durante grande parte do dia e receios relacionados com a segurança (Dimitroulopoulou & Bartzis, 2014).

Apesar de não existirem leis relacionadas com o conforto térmico, existe uma regulamentação ao nível dos países europeus e da União Europeia. Esta regulamentação foi construída independentemente por cada estado membro, sendo diferente para cada país. A União Europeia criou uma regulamentação para a adoção por parte de países que não possuam uma. Assim sendo, existe alguma dificuldade em encontrar valores comuns que se adequem às regulamentações dos vários países europeus, existindo uma necessidade de harmonização da regulamentação ao nível europeu, de forma a ser facilitada a comparação entre estados membros e a troca de conhecimentos e práticas entre os vários países (Kontonasiou et al., 2015)

Para efeitos de cálculos nesta dissertação foram adotados os valores da regulamentação europeia, nomeadamente a norma de conforto europeia EN 15251, que especifica os parâmetros ambientais em ambientes fechados para a construção de sistemas de climatização e cálculos de desempenho energético (Miguel & Teixeira, 2009).

Tabela 3 - Valores da norma europeia EN 15251 (Kontonasiou et al., 2015)

	<i>inverno</i>	<i>verão</i>
<i>Temperatura (°C)</i>	20 – 24	23 – 26
<i>Humidade relativa (%)</i>	30 – 50	30 – 50
<i>Renovação de ar (l/s.m²)</i>	0,6 – 1,4	0,6 – 1,4
<i>Velocidade do ar (m/s)</i>	0,15	0,25

2.2 Estudo dos componentes do sistema

Nesta secção são brevemente estudados os vários tipos de componentes existentes no mercado, de forma a ser feita mais à frente nesta dissertação, a escolha mais informada em termos de seleção de componentes e formação do sistema a projetar.

De seguida é apresentado na Figura 2, um diagrama do processo em causa, de forma a dar ao leitor uma breve noção do sistema em causa e seus constituintes, podendo a sua descrição detalhada ser consultada na secção 4.3.

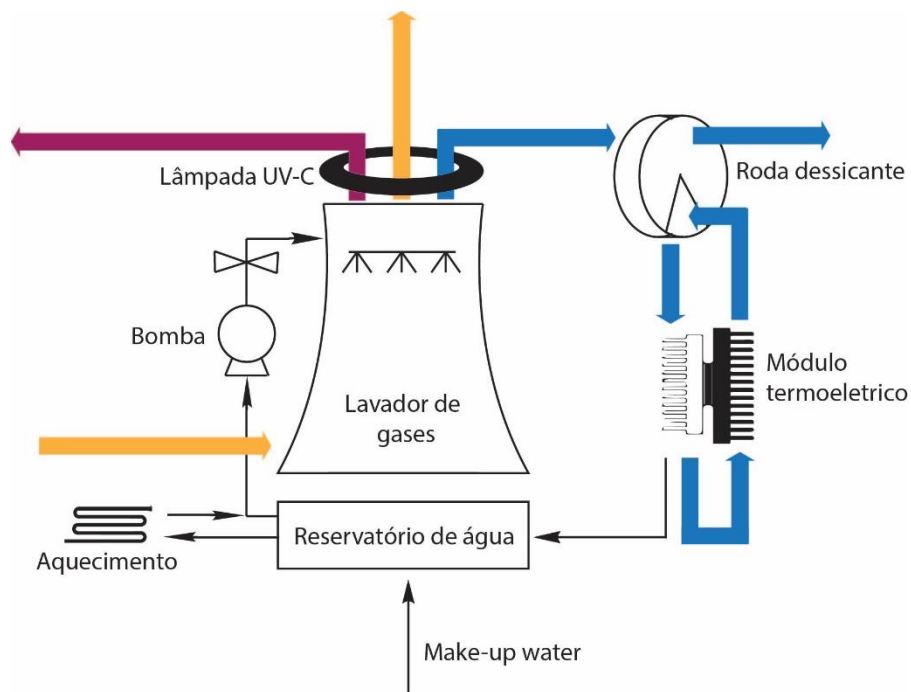


Figura 2 - Diagrama do processo

Podemos dividir o sistema em 3 zonas distintas; a câmara de spray, a zona de desumidificação e a luz UVC germicida. Os componentes que constituem a câmara de spray são o bocal de spray, a bomba e a resistência de aquecimento da água. A desumidificação é realizada utilizando uma roda dessicante e um módulo termoeletrico. A lâmpada UVC tem uma ação germicida no ar circundante.

2.2.1 Bocal de spray

Um dos principais componentes do equipamento é o bocal de spray. É ele o responsável pela formação das gotículas de água que vão promover a purificação e a humedificação do sistema na câmara de spray. Simplificando, um bocal de spray consiste numa câmara com um pequeno orifício, ao qual é sujeito um líquido a pressão elevada, levando à formação de um conjunto de gotículas dispersas. Um bocal de spray permite a um líquido atingir uma maior área e a formação de gotas aumenta a área superficial do líquido, benéfica em várias situações.

Os bocais de spray podem ser divididos em dois grandes grupos; os que apenas utilizam o líquido a atomizar, e os que a este juntam um gás a pressão elevada.

Nesta última categoria existem 3 tipos de bocais, dependendo da zona onde os dois fluidos entram em contacto, podendo ser na cabeça do bocal (mistura interna), fora da cabeça do

bocal (mistura externa), ou numa cabeça de bocal rotativa (atomizador de copo pneumático) (DybdahlBach& Jensen, 2008).

Os bocais podem ser caracterizados, entre outros, pelo tipo de padrão de spray que produzem. Os mais comuns são o cone cheio, o cone vazio, em leque, ou quadrado (Ikeuchi, H & Co., n.d.).

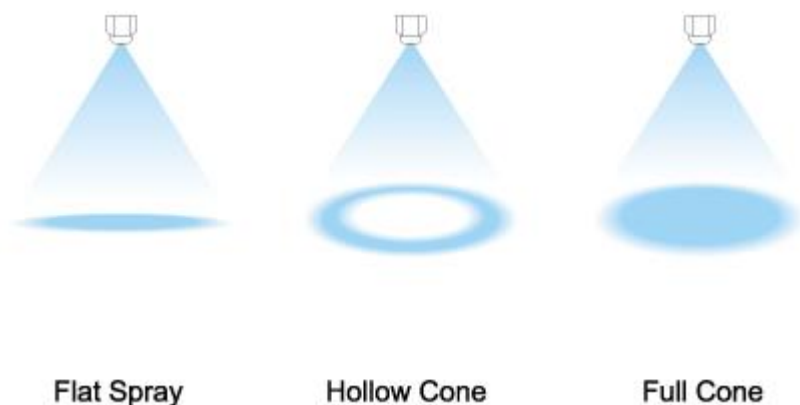


Figura 3 - Tipos de padrão produzidos por diferentes bocais de spray (Ikeuchi, H & Co., n.d.)

Outro dos fatores que caracterizam os sprays, são o diâmetro das gotas formadas. As gotas são formadas num conjunto de diâmetros diferentes, e por isso o diâmetro de gota apresentado é sempre um valor médio. O tipo de gotículas pode ser caracterizado pelo seu diâmetro (Ikeuchi, H & Co., n.d.):

- Ultra fina – até 10 μm de diâmetro
- Fina – de 10 a 300 μm de diâmetro
- Semi-fina – de 300 a 1000 μm de diâmetro
- Grossa – a partir de 1000 μm de diâmetro

Cada bocal de spray tem o seu próprio conjunto de caudais e pressão para funcionar corretamente, indo a variação nestes parâmetros fazer variar o ângulo de cobertura do spray produzido.

2.2.2 Bomba hidráulica

As bombas hidráulicas são os elementos funcionais que promovem a movimentação de líquidos. Existem inúmeros tipos de bombas; neste caso vamos considerar apenas aquelas úteis para o sistema em causa. Os tipos de bombas podem ser grosseiramente divididos em 2 categorias; cinética e de deslocamento positivo.

A bomba centrífuga representa a maioria das bombas cinéticas, que são caracterizadas pela utilização da velocidade do fluido, acelerado através de pás em rotação.

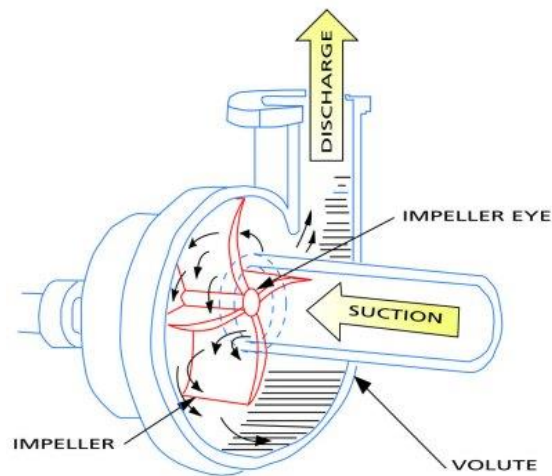


Figura 4 - Bomba centrífuga (Chaurette, 2005)

As bombas de deslocamento positivo possuem cavidades que impulsionam o fluido, sendo as mais comuns rotativas, reciprocas ou de diafragma. A principal diferença entre estes tipos de bombas é que a velocidade do fluido é independente da pressão no caso das bombas de deslocamento positivo (Empowering pumps, 2014)

Outros exemplos de bombas de deslocamento positivo são:

- Bombas de diafragma – ideais para líquidos muito viscosos e pressões médias
- Bombas de pistão – para pressões médias
- Bombas de peristálticas – ideais para líquidos esterilizados; produz em fluxo descontínuo
- Bombas de Palheta rotativa – ideais para líquidos de baixa viscosidade e pressões médias
- Bombas de Engrenagens - ideais para baixos caudais e altas pressões

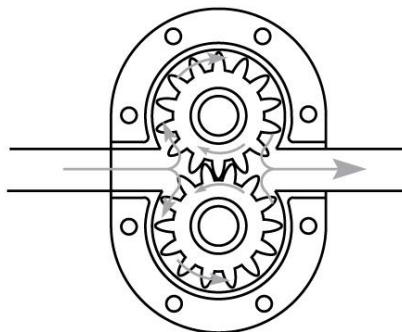


Figura 5 - Bomba de engrenagens (DATWiki, n.d.)

2.2.3 Métodos de desumidificação

A desumidificação é uma das funcionalidades do sistema a projetar. O tipo mais comum de desumidificação é pela utilização de um sistema de refrigeração por compressão de vapor. Dado o grande volume e ruído deste tipo de equipamento, foram estudadas duas alternativas que se apresentam a seguir.

Roda dessicante

A desumidificação por roda dessicante tem como base as propriedades adsorventes da matéria dessicante, como por exemplo a sílica gel. Este tipo de equipamentos tem uma maior aplicação industrial, onde parte fundamental do processo é a troca de ar com o exterior (Antonellis, et al., 2015). Na versão doméstica, é promovida a precipitação do vapor de água contido no ar, não existindo ligação do aparelho com o exterior.

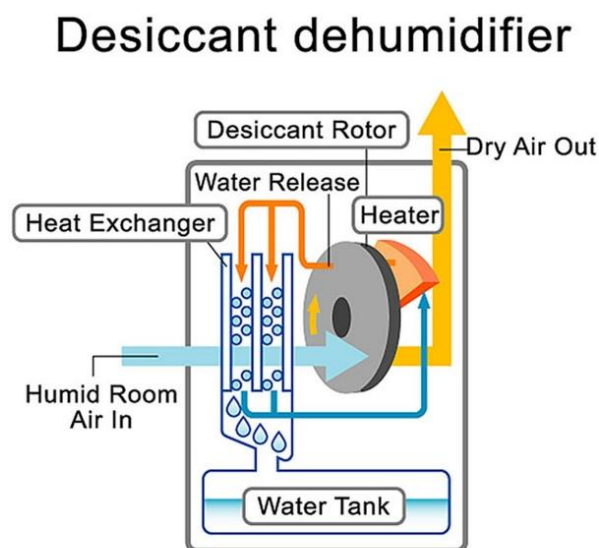


Figura 6- Diagrama de desumidificador dessicante (Ctrltech, 2015)

Como ilustra a Figura 6, o ar húmido (seta azul claro) entra em contacto com a roda dessicante, saindo mais seco e mais quente (seta amarela). A roda gira muito lentamente, e é regenerada por uma corrente de ar pré-aquecido (seta laranja) que incide numa fração da matéria humidificada da roda, retirando-lhe parte do conteúdo de água. Esse ar quente e húmido entra numa serpentina, onde efetua trocas de energia com o ar ambiente (seta azul) que entra no aparelho. O calor latente perdido faz com que a água precipite, sendo esta depositada no reservatório de água. O ar que sai da serpentina (seta azul escuro) é

redirecionado e aquecido para fazer a regeneração da roda dessicante, e assim sucessivamente.

Estes sistemas são mais eficientes a baixas temperaturas, tendo grandes limitações a temperaturas elevadas devido à inexistência de uma fonte de frio.

Outra das grandes desvantagens deste processo é um aumento na temperatura do ar, resultante da ação do aquecedor do processo.

Termoelétrico

Um desumidificador termoelétrico baseia-se no princípio de Peltier para criar uma zona fria onde ocorre a condensação do vapor de água existente no ar. Este método utiliza materiais específicos que, quando sujeitos a uma corrente elétrica, criam uma variação de temperatura entre as suas duas faces. O calor é redirecionado por uma estrutura metálica o que se chama reservatório quente. Uma estrutura metálica distinta é agregada à face fria do dispositivo. A água presente no ar húmido condensa ao entrar em contacto com a superfície fria. O ar frio e relativamente mais seco é então sujeito a aquecimento por meio do reservatório quente, e enviado para o exterior do aparelho, para o espaço interior usado.

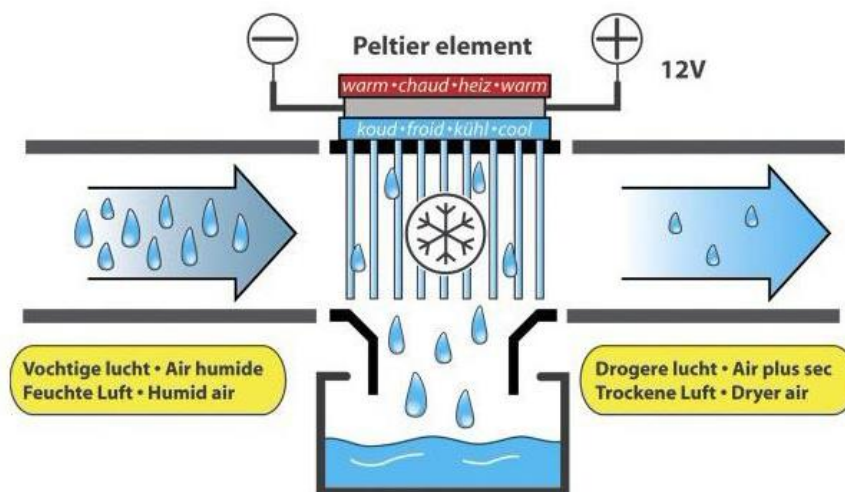


Figura 7 - Esquema desumidificação termoelétrica (Ebay, n.d.)

Um aspeto a salientar neste tipo de aparelho é a utilização de materiais baratos na sua construção. Sendo uma tecnologia com aplicação recente no campo da climatização em maior escala, ainda se encontra subdesenvolvida, sendo que a tecnologia de ponta ainda não se encontra aplicada a este tipo de equipamento (Huajun & Chengying, 2010a). Por

outro lado, a climatização termoelétrica de ponta é comumente usada na informática e/ou eletrônica (Lee & Kim, 2007).

Ao contrário do desumidificador de roda dessicante, este tipo de desumidificação tem maior performance a maiores valores de temperatura e humidade.

2.3 Princípios físicos do sistema

Nesta secção são apresentados alguns dos processos físicos que ocorrem no interior do aparelho. A ordem de apresentação corresponde à ordem de ocorrência dos processos no equipamento.

2.3.1 Purificação

A purificação do ar constitui uma das principais etapas do sistema. Este efeito é conseguido pela ação das gotas de água e, mais à frente, no processo pela luz UVC.

As gotas de água purificam o ar neste sistema de duas maneiras diferentes. Pelo arrastamento de material particulado e pela dissolução dos poluentes na água que as constitui.

O arrastamento de partículas pelas gotículas de água pode ser descrito por 3 fenómenos (Bianchini et al., 2016):

Difusão

É o mecanismo de captura das partículas com base no movimento Browniano, sendo o mecanismo predominante em processos de lavagem de partículas muito pequenas (diâmetro inferior a $0,1\ \mu\text{m}$).

Intercepção

A intercepção é o mecanismo principal na captura de partículas com dimensões entre os $0,1$ e $1\ \mu\text{m}$. Tal como o nome indica, esta ocorre quando a partícula é interceptada pela gota de água, i.e quando as trajetórias de ambas se cruzam.

Impactação inercial

Mesmo que a trajetória de uma partícula não coincida com a da gota, a partícula pode ser interceptada se passar a menos de 1 raio de partícula de distância da superfície da gota; a este fenómeno dá-se o nome de impactação inercial. As partículas de dimensões superiores a $5\ \mu\text{m}$ são removidas predominantemente por este tipo de mecanismo, sendo este influenciado pelas dimensões da partícula e da gota, bem como pelas suas velocidades.

Partículas e gotas de dimensões semelhantes têm maiores probabilidades de ocorrência destes fenómenos. Este facto está relacionado com as movimentações do ar circundante da gota. No caso de a gota ser maior, ela irá deslocar maiores quantidades de ar em seu redor, sendo que a partícula vai ser arrastada por esse fluxo de ar, não intertendo a gota.

Os fenómenos tidos em conta para este equipamento são a intercepção e a impactação inercial, correspondendo respetivamente aos mecanismos predominantes nos dois tipos de partículas a remover, $PM_{2,5}$ e PM_{10} .

2.3.2 Humidificação

A humidificação ocorre em simultâneo com a remoção de partículas, quando o ar é exposto a um conjunto de gotículas na câmara de spray. As gotas ao evaporarem transferem água para o ar, aumentando a sua humidade relativa. Esse mesmo processo tem um efeito na temperatura do sistema, ao qual se chama arrefecimento evaporativo.

Arrefecimento evaporativo

Em muitas instalações industriais, especialmente na indústria termoelétrica, existe um equipamento chamado de torre de arrefecimento, que foi uma grande inspiração para o projeto.

Neste tipo de equipamentos, um spray de água quente é sujeito a um fluxo de ar, com o objetivo de arrefecer a água, para que esta possa ser reutilizada no processo de produção.

O arrefecimento ocorre por transferência de calor sensível devido às diferenças de temperatura entre a água e o ar e por arrefecimento evaporativo, no qual o calor sensível da água é gasto na forma de calor latente de evaporação, permitindo à água passar ao estado de vapor (Coulson & Richardson, 1999).

2.3.3 Desumidificação

Roda dessicante

O fenómeno físico responsável pela ação da roda dessicante é bastante simples. A roda é formada por várias camadas de canais revestidos com material adsorvente sólido, geralmente sílica-gel ou cloreto de lítio. Os canais podem ser sinusoidais, triangulares ou em forma de favo de abelha, aumentando ao máximo a área de superfície de adsorvente exposta, como mostra a imagem seguinte. (Koronaki et al., 2016)

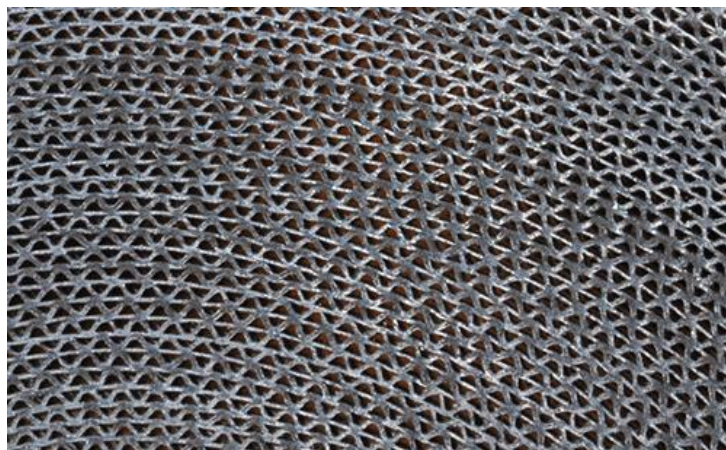


Figura 8 - Roda dessicante de canais triangulares organizados em forma de favo de abelha (Plastics technology, 2014)

O fenómeno da adsorção consiste na inclusão do material adsorvido na superfície do material adsorvente. Neste caso, as moléculas de água contidas no ar, ao passarem pela sílica-gel são incorporadas em cavidades na sua superfície. Após algum tempo é possível a ocorrência de um estado de equilíbrio, em que as trocas de água entre a sílica-gel e o ar estabilizam.

Este processo pode ser revertido utilizando ar quente, que vai alterar esse estado de equilíbrio fazendo com que a água adsorvida seja transferida do dessicante para o ar.

É este ciclo de processo e regeneração que constitui a base do funcionamento da roda dessicante como processo de desumidificação.

Módulo termoelétrico

A desumidificação por aparelhos termoelétricos é explicada pelo efeito de Peltier de materiais semicondutores. Este tipo de tecnologia tem evoluído rapidamente como uma alternativa aos convencionais sistemas de refrigeração por compressão de vapor (Huajun & Chengying, 2010).

O efeito de Peltier é causado pela aplicação de uma diferença de potencial entre dois materiais diferentes, gerando uma diferença de temperatura de até 50 °C entre eles.

Os módulos termoelétricos consistem na utilização de placas de cerâmica em conjunção com pequenos cubos dos materiais termoelétricos, que geralmente são feitos de telureto de bismuto. O resultado é a obtenção de um lado quente e outro frio. Para o correto funcionamento do módulo termoelétrico, o calor deve ser dispersado da face quente (Newman, 2007).

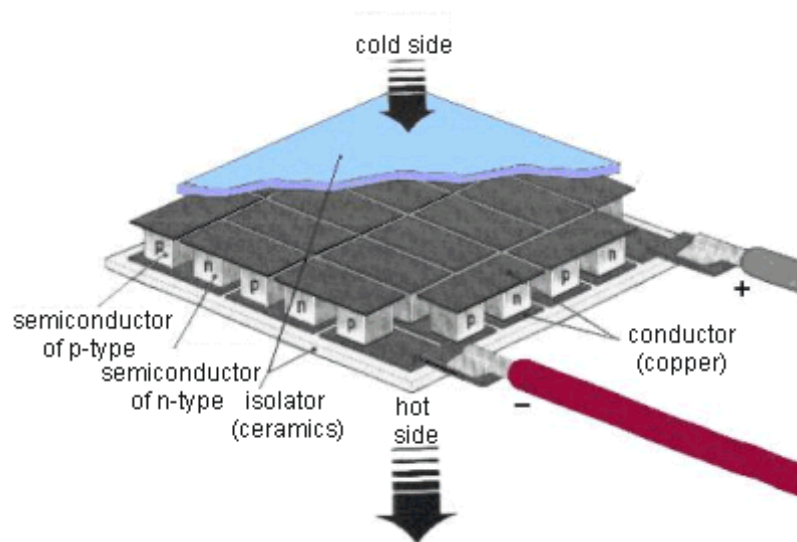


Figura 9 – Módulo termoelétrico (Newman, 2007)

2.3.4 Desinfecção

A luz UVC corresponde à zona do espectro eletromagnético dos ultra violetas de menor comprimento de onda, entre os 200 e os 280 nm. Ela é totalmente absorvida não penetrando a atmosfera.

Este tipo de luz é mais conhecido pelo seu efeito letal sobre os microrganismos, tendo o seu pico de efeito nos 253,7 nm.

A radiação UVC induz uma modificação química nos ácidos nucleicos, alterando a estrutura molecular do ADN dos microrganismos pela formação de dímero de timina e outros foto produtos que inibem a replicação e transcrição (Sommer & Araújo, 2014).

2.3.5 Arco-Íris

Um arco-íris é formado por fenómenos de refração da luz branca em gotas de água suspensas no ar, decompondo-se esta luz no espectro de cores que a compõem.

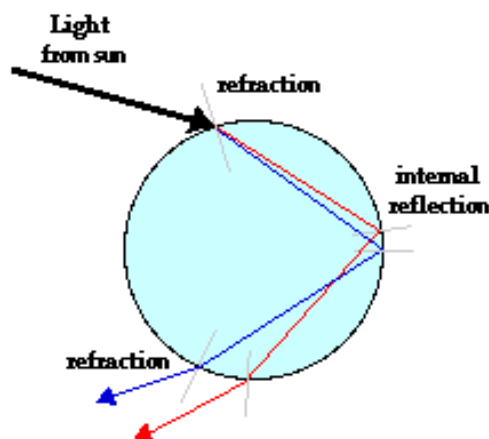


Figura 10 - Refração da luz numa gota de água (The Physics Classroom, n.d.)

Para que o observador consiga ver o arco-íris, ele deve olhar na direção a 42° da fonte de luz, com as costas viradas para ela.

Gotas com menores diâmetros produzem arco-íris mais dispersos, e com cores menos vibrantes (Atmospheric Optics, n.d.).

Podemos então esperar a formação de arco-íris dentro da câmara de purificação, sob condições especiais de iluminação.

2.4 Carta psicométrica

A carta psicométrica é de grande valia no decorrer deste trabalho, sendo importante a sua total compreensão de leitura.

Uma carta psicométrica é uma ferramenta de engenharia, que permite ao utilizador obter de forma simples, valores pretendidos através de um determinado número de parâmetros iniciais, sem ter de recorrer a cálculos. Nela estão representadas todas as combinações possíveis de temperatura e humidade do ar.

Existem vários tipos de cartas psicométricas, para várias pressões e com diferentes parâmetros. Para este trabalho será utilizado o seguinte modelo:

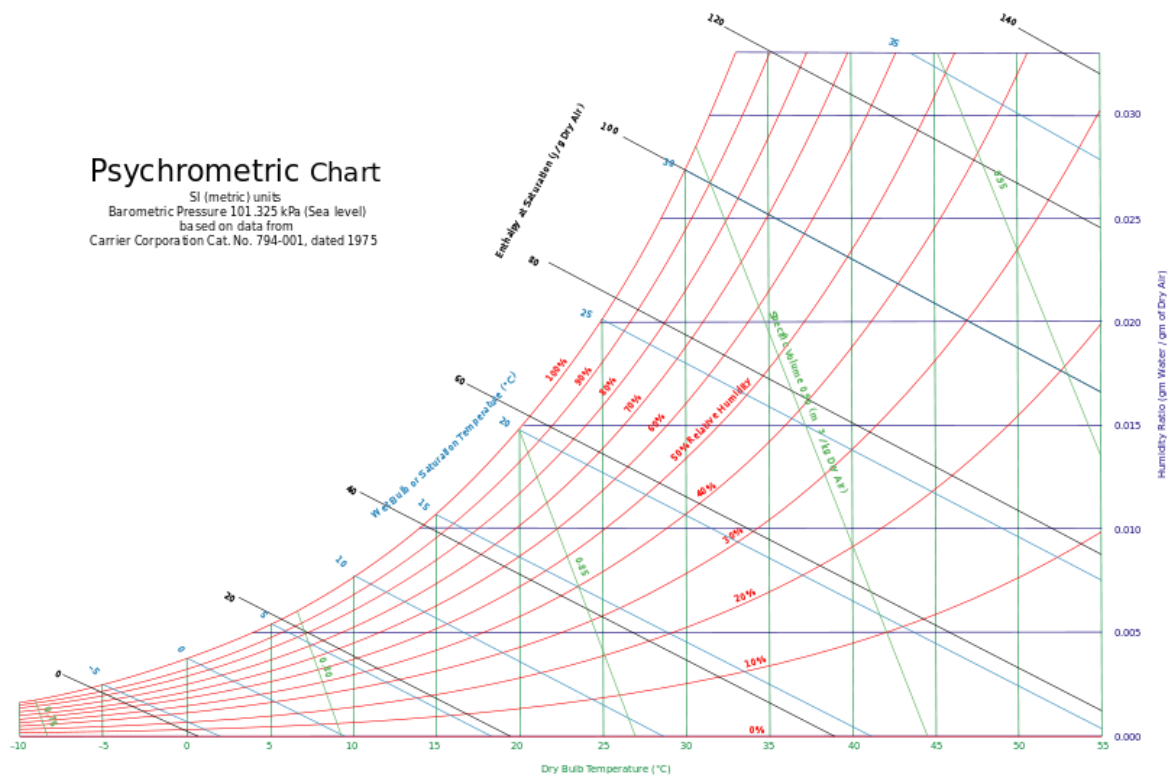


Figura 11 - Modelo de carta psicométrica (Ogawa, 2009)

Ao utilizar a carta psicométrica podemos facilmente representar graficamente ou mesmo calcular as variações nas condições do ar associadas a sistemas de ar condicionado. Os seguintes parâmetros são os mais significativos ao descrever e calcular modificações de estado do ar húmido (Siemens, n.d.):

- Temperatura do ar (°C) – eixo das abcissas no gráfico
- Humidade relativa (%) – a vermelho no gráfico
- Humidade absoluta (kg água/ kg ar seco) - eixo das ordenadas no gráfico
- Entalpia (kJ/kg) – a preto no gráfico
- Temperatura de bolbo húmido (°C) – a azul claro no gráfico, corresponde à temperatura da água em determinadas condições de humidade e temperatura do ar

Pelo formato de gráfico, torna-se visível a ocorrência de altas concentrações de água no ar apenas a temperaturas mais elevadas.

Parte II – Estado da Arte

3. Benchmarking

A análise e caracterização do mercado e tecnologias existentes é fundamental na concepção de novos produtos. Ao avaliarmos o que nos rodeia, podemos fazer melhoramentos a produtos existentes, e procurar espaço no mercado para a diferenciação. Servem também para conhecer os componentes disponíveis no mercado, que podem ser integrados em soluções a desenvolver.

Nas próximas páginas encontra-se uma descrição das tecnologias e equipamentos de melhor performance e design existentes no mercado, nas áreas de purificação, humidificação e desumidificação de ar em contexto de utilização doméstica.

3.1 Purificadores de ar

Existem inúmeros equipamentos de purificação de ar para ambiente doméstico, como filtros, incinerador, lavadores de ar, UVC, entre outros. Em seguida são apresentados exemplos de produtos e tecnologias mais comumente utilizadas.

Filtros

Os purificadores de ar por ação de filtros são os que ocupam maior espaço de mercado. Apesar de simples, este tipo de equipamentos tem elevados custos de manutenção, já que os filtros exigem limpeza e substituição periódicas. Além disso, os custos de operação também são elevados, devido às perdas de carga nos filtros que exigem maior potência do sistema de ventilação.

Tabela 4 - Especificações do purificador de ar Viktor da Stadler Form (Stadler Form, 2015)

<i>Área máx. do espaço a purificar</i>	50 m ²
<i>Capacidade de purificação</i>	200 m ³ /h
<i>Potência</i>	10-38 W
<i>Dimensões</i>	246 x 451 x 246 mm



Figura 12 - Purificador de ar Stadler Form Viktor (Stadler Form, 2015)

O design deste produto assemelha-se a um candeeiro de mesa, existindo uma vontade do designer de camuflar o aparelho no ambiente em vez de o assumir como um eletrodoméstico de tratamento de ar. A forma geométrica simples é utilizada, bem como grelhas de ar visíveis na parte superior do produto.

Incinerador

O processo de incineração é bastante simples, consistindo na destruição das partículas poluentes, incluindo vírus e bactérias por exposição a altas temperaturas.

O equipamento seguinte é da marca portuguesa Airfree. No interior do aparelho encontra-se um núcleo de cerâmica com capilares que atingem a temperatura de 200 °C, o que, segundo a marca, garante a esterilização do ar, ou seja, uma neutralização quase total de bactérias, esporos vírus e fungos. O ar é direcionado para o interior do aparelho por efeito de convecção natural, não existindo ventilador. Assim, este produto é totalmente silencioso e não necessita de manutenção.

Como se pode perceber pela descrição anterior, este aparelho atua somente ao nível biológico dos microrganismos, funcionando muito à semelhança de uma luz UVC, ou seja, o material particulado não é capturado, continuando em circulação no ar.

Tabela 5 - Especificações do purificador de ar Lotus da Airfree (Airfree, 2016)

<i>Área máx. do espaço a purificar</i>	60 m ²
<i>Potência</i>	52 W
<i>Dimensões</i>	195 x 333 x 195 mm



Figura 13 - Purificador de ar Lotus da Airfree (Airfree, 2016)

Em termos de design, este é o aparelho que mais se diferencia. Contrariamente aos concorrentes, este purificador de ar não segue a tendência do formato de caixa. Como o nome indica, ele evoca a flor de lótus, transmitindo uma sensação de paz ao utilizador. O centro do equipamento possui um sistema de luzes LED que mudam de cor, passando por todo o espectro do arco-íris. Esta faceta de cromoterapia acentua a ideia de paz e relaxamento que o produto pretende transmitir.

3.2 Humidificadores

Os humidificadores para uso doméstico atuam pela dispersão de partículas de água, através da geração de uma neblina visível. Esta neblina tanto pode ser quente como fria, dependendo se a água é ou não pré-aquecida.

Este tipo de humificação, apesar de mais direta, é diferente da obtida por evaporação da água. O facto de gotículas serem ejetadas para o ar pode trazer vários problemas quando, por exemplo, o mobiliário é exposto a água, e mais especialmente quando essa água é rica em calcário. Uma das principais queixas dos utilizadores deste tipo de aparelhos é serem confrontados com um manto de resíduo branco nos locais mais próximos do humidificador.

O humidificador U700 da Boneco disponibiliza neblina quente ou fria, e possui sensor de humidade do ar, parando o seu funcionamento quando é alcançado o valor de humidade definido pelo utilizador.

Tabela 6 - Especificações do humidificador Boneco U700 (Boneco, n.d.-a)

<i>Área máx. do espaço a humidificar</i>	93 m ³
<i>Capacidade do tanque</i>	9 L
<i>Potência</i>	180 W
<i>Capacidade máx. de humificação</i>	15 L/dia



Figura 14 - Humidificador Boneco U700 (Boneco, n.d.-a)

O seu design transmite a sensação de transparência, e permite ao utilizador observar o processo de formação da neblina a partir de um tanque de água. O ecrã é de leitura simples, indicando a humidade relativa do ar, que é o parâmetro de ação do aparelho. A sua forma é simples, com arestas arredondadas.

3.3 Desumidificadores

De compressão

Os desumidificadores mais encontrados em ambiente doméstico são que utilizam um sistema de refrigeração por compressão de vapor, geralmente volumosos e ruidosos, com elevados gastos energéticos, mas muito eficientes, o que por outro lado implica maior manutenção devido à necessidade de esvaziamento periódico do tanque de água.

Tabela 7 – Especificações do desumidificador Albert da Stadler Form (Stadler Form, 2013)

<i>Área máx. do espaço a desumidificar</i>	70 m ²
<i>Capacidade do tanque</i>	4,6 L
<i>Potência</i>	320 W
<i>Remoção máx. de humidade</i>	20 L/dia
<i>Dimensões</i>	350 x 655 x 252 mm



Figura 15 - Desumidificador Albert da Stadler Form (Stadler Form, 2013)

Este desumidificador possui uma forma geométrica simples, de cantos arredondados, e uma grelha de ar que recolhe quando o aparelho não se encontra em funcionamento. A simplicidade do design faz com que o ecrã digital entre em evidência, mostrando a humidade ambiente e outros parâmetros introduzidos pelo utilizador.

Os desumidificadores apresentados a seguir, apesar de menos eficientes, são silenciosos e compactos, quando comparados com os desumidificadores mais convencionais que funcionam por compressão de vapor.

Roda dessicante

Como explicado na secção 2.2.3, esta tecnologia de desumidificação supera o uso do compressor quando utilizada a baixas temperaturas. Por isso, um dos públicos que mais utiliza este tipo de desumidificador são os detentores de embarcações, para preservar o interior do barco que está permanentemente sujeito a ar frio e muito húmido. Tal como o tipo de equipamento anterior, implica o esvaziamento periódico do tanque de água.

Tabela 8 - Especificações do desumidificador EVD 4000 (Eva-Dry, n.d.)

<i>Área máx. do espaço a desumidificar</i>	45 m ²
<i>Temperatura de funcionamento</i>	1 – 40 °C
<i>Capacidade do tanque</i>	2L
<i>Potência</i>	330 – 615 W
<i>Remoção máx. de humidade</i>	7 L/dia (T=20°C; HR=60%)
<i>Dimensões</i>	457 x 292 x 178 mm



Figura 16 - Desumidificador EVD 4000 (Eva-Dry, n.d.)

Seguindo o padrão, o dispositivo tem o formato de caixa arredondada. Neste caso não existe ecrã digital, sendo a interação com o aparelho feita através de botões. É visível uma grelha de ar, e há o cuidado de providenciar uma transparência para o visionamento do nível de água no tanque.

Termoelétricos

Apesar da sua baixa eficiência, este é o único tipo de desumidificador sem partes móveis à exceção do ventilador. Este facto faz com que tenha uma alta durabilidade e menores custos de operação, sendo também o tipo de desumidificador mais silencioso do mercado.

Podemos observar, pelas especificações do produto na tabela seguinte que, ao contrário do desumidificador dessicante, este tem melhor performance a maiores valores de temperatura e humidade, que se traduz na prática num maior conteúdo de água no ar.

Tabela 9 - Especificações do desumidificador IVADM 45 (Ivation, n.d.)

<i>Área máx. do espaço a desumidificar</i>	30 m ²
<i>Capacidade do tanque</i>	2L
<i>Potência</i>	72 W
<i>Remoção máx. de humidade</i>	0,7 L/dia (T=30°C; HR=80%)
<i>Dimensões</i>	349 x 218 x 178 mm



Figura 17 – Desumidificador Ivation IVADM 45 (Ivation, n.d.)

O desumidificador termoelétrico da Ivation possui forma simples e utiliza apenas como cores o branco e preto. A lista preta central alonga a forma e acomoda um visor digital que apresenta a vermelho o valor da humidade relativa do ar. A interação com o aparelho é feita por intermédio de botões, onde é possível a indicação da humidade relativa desejada que, quando atingida, leva à desativação do aparelho.

3.4 Híbridos

Hoje em dia, os aparelhos híbridos desta categoria têm geralmente a função de purificador e humidificador de ar. O equipamento H680 da Boneco recorre a pré filtros comuns para filtração de poeiras. No interior do sistema encontra-se uma roda com canais de enchimento em forma de favos de abelha, que gira lentamente, estando parcialmente mergulhada num reservatório com água. Ao passarem pela água, os favos ficam cobertos com gotículas, por onde o ar é obrigado a passar, aumentando a sua humidade por evaporação das gotículas.



Figura 18 - Purificador e humidificador Boneco H680 (Boneco, n.d.-b)

Tabela 10 - Especificações do purificador e humidificador Boneco H680 (Boneco, n.d.-b)

<i>Área máx. do espaço a humidificar</i>	100 m ²
<i>Capacidade de Purificação</i>	190 m ³ /h
<i>Capacidade de humidificação</i>	1000 g/h
<i>Potência</i>	30 W
<i>Capacidade do reservatório</i>	10 L
<i>Dimensões</i>	347 x 435 x 490 mm

A utilização de pré filtros neste sistema faz com que a função de purificação desempenhada pela água seja mínima, aumentando bastante os custos de operação e manutenção. O facto de uma estrutura deste género estar continuamente húmida favorece a proliferação de mofo e microrganismos.

O purificador e humidificador Robert, da marca Stadler Form, utiliza a mesma tecnologia que o aparelho anterior, mas dispensa a utilização de pré filtros, referindo que a purificação é conseguida somente pela passagem pela roda humidificada.



Figura 19 - Purificador de ar híbrido Robert, da marca Stadler Form (Stadler Form, 2014)

Tabela 11 - Especificações do purificador de ar híbrido Robert da Stadler Form (Stadler Form, 2014)

<i>Área máx. do espaço a humidificar</i>	80 m ²
<i>Capacidade de humidificação</i>	550 g/h
<i>Potência</i>	7-30 W
<i>Capacidade do reservatório</i>	6,3 L
<i>Dimensões</i>	321 x 471 x 235 mm

O design de ambos os equipamentos, à semelhança dos restantes apresentados, mantém a forma simples de caixa. É dada ênfase à utilização de grelhas para a passagem do ar, e das cores preta e branca, com a utilização de metais no último caso apresentado. O ecrã tátil digital é comum a ambos os equipamentos, com uma fácil leitura da humidade relativa do ar exterior e indicação do nível instantâneo de ventilação.

Parte III – Desenvolvimento Projetual

4. Desenvolvimento Concetual

4.1 Requisitos do Sistema

Como ponto de partida para o desenvolvimento de produto foram listados os principais requisitos do sistema:

- Silencioso
- Compacto
- Portátil
- Preciso
- Baixas necessidades e custos de manutenção
- Design diferenciado
- Purificador de ar
- Humidificador de ar
- Desumidificador de ar
- Aquecedor de ar

4.2 Público-alvo



Figura 20 - Público-alvo

Apesar de à primeira vista, este tipo de equipamento parecer muito específico, ele possui um espectro de aplicações alargado. Através da pesquisa anteriormente efetuada verificou-se que para além da população vulnerável como crianças e idosos, todas as pessoas que vivem em ambientes interiores poluídos podem beneficiar do usufruto deste tipo de proteção. A utilização em escritórios poderia melhorar a performance dos trabalhadores, e em clínicas a segurança dos utentes.

4.3 Definição de conceito

A conceção inicial do equipamento baseou-se na ideia de adaptação de um processo de lavagem de ar industrial ao ambiente doméstico. A simplicidade e naturalidade do processo permite facilmente transmitir ao utilizador confiança no seu desempenho. Mesmo do ponto de vista do design, existe um grande potencial de criação de um produto diferenciado, transparente e atrativo, que nos remete para a natureza.

O processo de purificação por lavagem do ar produz, incontornavelmente, um aumento da humidade do ar libertado, pelo que se tornou oportuna a criação de um produto multifacetado, capaz de dar ao ambiente do utilizador um ar nas condições de limpeza, humidade e temperatura desejadas, respeitando as recomendações sugeridas pela União Europeia.

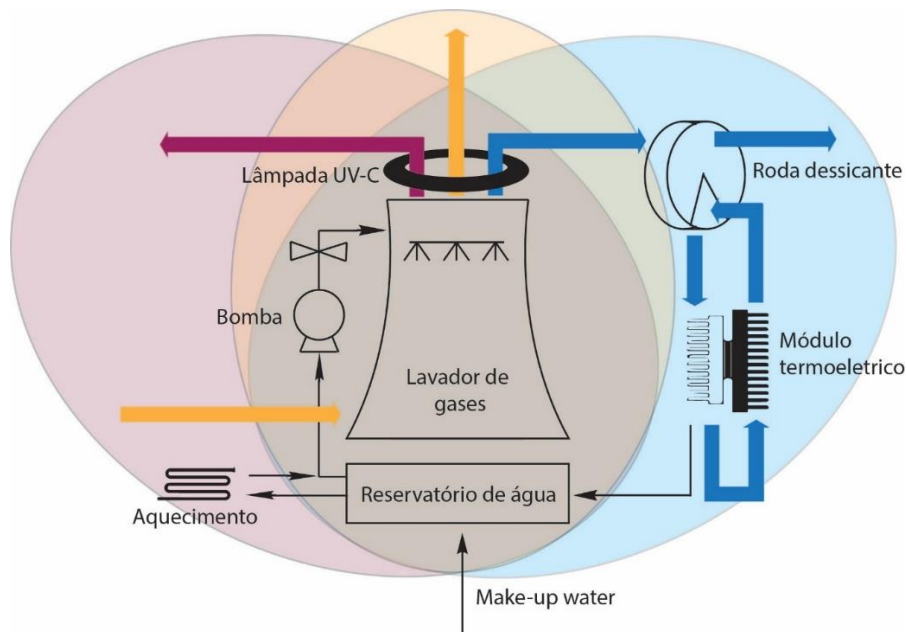
Num Mundo onde existe cada vez mais variedade de eletrodomésticos, os aparelhos multifuncionais ganham espaço de mercado, permitindo ao utilizador obter capacidades extra por um preço compensatório, e, mais importante, poupando espaço físico no lar.

Sendo um aparelho multifacetado de precisão, com algumas preocupações em termos estéticos, possui limitações nas suas capacidades. Assim, ele foi idealizado para o apuramento do estado do ar, possivelmente em conjunção com outro tipo de aparelhos, dependendo do clima in loco, como, por exemplo, aquecedores ou aparelhos de ar condicionado, até porque ele não foi projetado para a produção de arrefecimento, podendo atingi-lo em menor escala apenas por efeitos de arrefecimento evaporativo.

4.4 Descrição do sistema

Em seguida apresenta-se um diagrama do sistema projetado. As áreas coloridas representam as diferentes ações a tomar para cada conjunto particular de condições iniciais. As setas mais grossas correspondem ao caminho percorrido pelo ar, e as mais finas representam a água.

A zona a amarelo, representa a lavagem de gases, e é comum a todos os percursos. O Ar entra na zona inferior da coluna, em contracorrente (ascendente) com água nebulizada (descendente). A queda da água por gravidade incorpora poluentes e partículas suspensas no ar, que são arrastadas pela água e se acumulam no reservatório. Esta água é então recirculada, pela ação de uma bomba. A pressão variável exercida pela bomba controla, à entrada da torre, o caudal de água emitido, de forma a obter-se uma maior ou menor eficiência de humedificação, mantendo-se um caudal mínimo que garanta a purificação do ar. Parte da água é transferida para o ar, ocorrendo um arrefecimento evaporativo caso a água não seja aquecida. Para compensar essa perda, a água é repostada por uma fonte exterior ao sistema, caso necessário.



Para o ar que necessita de aumento de temperatura existe uma resistência de aquecimento de água, que também acaba por promover a humidificação do ar.

O ar que, após a passagem pelo lavador, contenha um nível de humidade relativa superior ao desejado é encaminhado para uma roda dessicante, que irá reter a água em excesso, saindo do sistema nas condições desejadas. Uma corrente de ar, em circuito fechado, obtém a sua temperatura elevada, através do contacto com a face quente de um módulo termoelétrico. Essa corrente de ar é de seguida encaminhada para a roda dessicante, entrando em contacto com uma fração do material húmido da roda, regenerando-o. A corrente de ar quente, agora húmido, sofre arrefecimento na face fria do módulo termoelétrico, ocorrendo assim a condensação da água retida, que é redirecionada para o reservatório de água do lavador. A corrente de ar volta a ser aquecida no módulo termoelétrico e recomeça o ciclo de regeneração da roda dessicante.

Todo o ar é sujeito a desinfecção através da passagem por uma lâmpada de UVC á saída da torre.

O ar é forçado a circular por meio de um ventilador colocado no topo da torre.

5. Estudo e aplicação de componentes existentes no mercado

Condições de funcionamento

Numa primeira abordagem, foram definidas condições de ar de funcionamento do dispositivo, uma vez que não se justificava projetar um aparelho para condições do ar mais peculiares, que são mais incomuns num ambiente interior. Assim sendo, apesar do aparelho não estar projetado para ambientes com certas condições de humidade e temperatura, este pode ser utilizado em conjugação com outros aparelhos, como aquecedores, ar condicionado, desumidificadores ou humidificadores, dando ao utilizador a certeza que o ar se encontra nas melhores condições de temperatura, humidade e limpeza, que não poderiam ser atingidas pela utilização única dos dispositivos mencionados anteriormente.

Assim sendo, o aparelho foi projetado para ar entre os **15 e os 30 °C** e uma humidade relativa entre os **20 e os 70%**, sendo que as condições de ar ótimas a atingir são uma temperatura entre **20 e 25 °C** e uma humidade relativa entre **30 e 50%**.

Outro dos parâmetros definidos foi a dimensão do espaço a ser intervencionado. Tendo em conta o objetivo de utilização em ambientes domésticos, fixou-se o valor de **30 m²**, que corresponde à área de uma divisão da casa.

Capacidade de processamento

Sabendo a dimensão da divisão, podemos calcular a renovação de ar mínima recomendada para este caso em específico.

$$\begin{aligned} \text{Renovação de ar} &= \text{Área da divisão} \times \text{Renovação de ar recomendada} \\ &= 30 \text{ m}^2 \times 0,6 \text{ l/s.m}^2 = 18 \text{ l/s} = 0,018 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Podemos então definir a capacidade de renovação de ar do aparelho em **64,8 m³/h**.

Área mínima de saída

Existindo uma velocidade de circulação máxima recomendada, podemos dimensionar a área de secção mínima de saída do ar, tendo em conta a capacidade de processamento do aparelho. Para este cálculo foi considerada a velocidade máxima recomendada para o inverno.

$$\begin{aligned} \text{Área de Saída} &= \frac{\text{Capacidade}}{\text{Velocidade do Ar}} \\ &= \frac{0,018 \text{ m}^3/\text{s}}{0,15 \text{ m/s}} = \mathbf{0,12 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

Carta psicrométrica

Pela análise da carta psicrométrica podem-se mais facilmente perceber as ações a realizar, de forma a atingir as condições de ar pretendidas.

Nas cartas seguintes, a área colorida a verde corresponde às condições de ar recomendadas, e a zona delimitada a azul às condições de funcionamento do sistema.

Numa primeira abordagem foram definidas as diferentes zonas no gráfico que correspondem a diferentes ações, sem uma ordem específica. Nas zonas sobrepostas foi utilizada a seguinte ordem de prioridade:

Humidificação adiabática > humidificação/aquecimento > humidificação/desumidificação

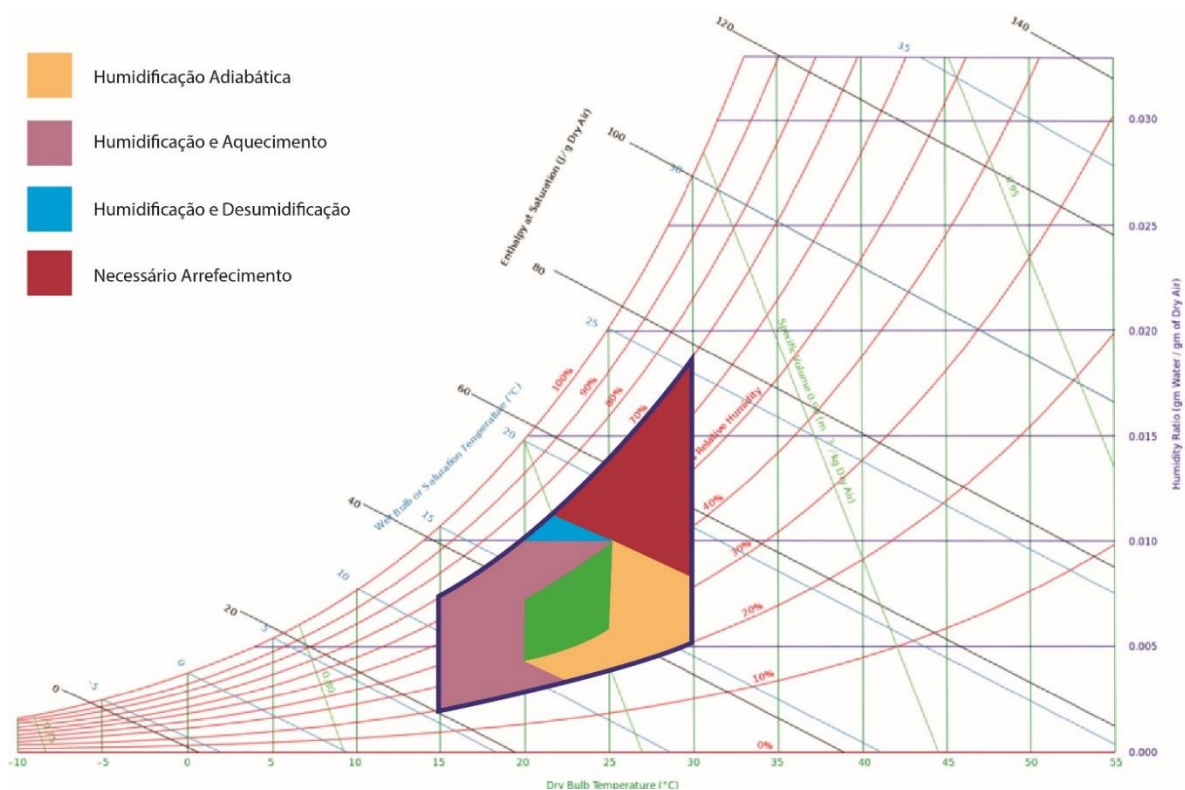


Figura 22 - Carta psicrométrica - caracterização de zonas

Devido à incapacidade do sistema em produzir arrefecimento, a zona a vermelho não faz parte das condições de funcionamento, sendo necessária a utilização em conjunto com um aparelho de arrefecimento.

Em seguida efetuou-se uma análise detalhada de cada um dos casos, definindo a melhor sequência de ações a adotar, de forma a atingir a qualidade de ar pretendida a partir das condições mais adversas de cada zona.

Condições 1 (T-30°C; HR-30%)

Quando o ar se encontra dentro dos parâmetros definidos na carta pela cor amarela, ou mesmo ar que se encontre dentro das condições de humidade e temperatura ideais, mas que será sujeito ao contacto com água para efeitos de purificação, apenas ocorrerá uma humedificação adiabática. O facto de existir recirculação da água faz com que esta atinja, no equilíbrio, a temperatura de saturação adiabática do ar à entrada. (Treybal, 1980) Como se pode verificar na carta seguinte, esta temperatura é de **17,9 °C**.

Os estados de entrada e de saída do ar estão assinalados na carta, pelos números 1 e 2 respetivamente.

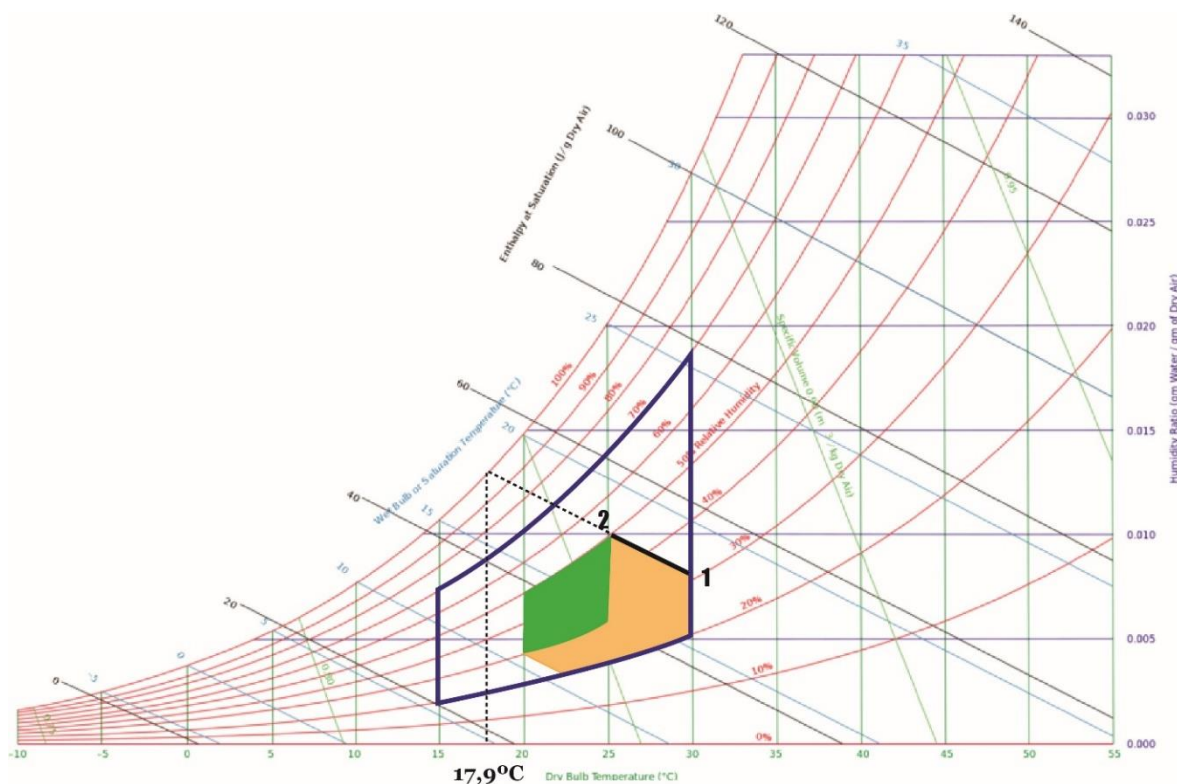


Figura 23 - Carta psicrométrica - Humidificação adiabática

Os seguintes dados necessários foram obtidos através da carta psicrométrica:

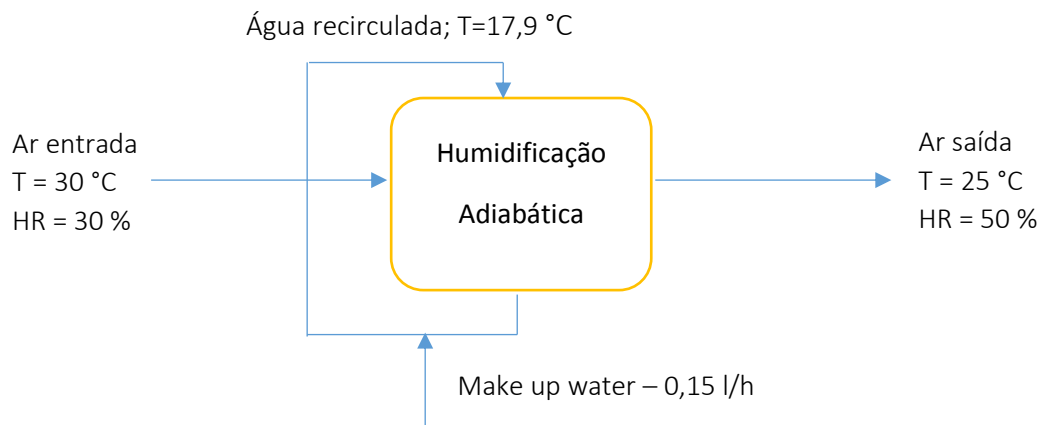
Tabela 12 - Dados do ar nas condições 1

	1-Ar Entrada	2-Ar Saída
Temperatura (°C)	30	25
Humidade relativa (%)	30	50
Humidade absoluta (kg H ₂ O/kg ar seco)	0,00792	0,00988
Volume específico (m ³ /kg ar seco)	0,87	0,858

Pode-se assim calcular a quantidade de água evaporada por unidade de tempo, tendo em conta o caudal de ar anteriormente definido.

$$\begin{aligned}
 \text{Taxa de evaporação} &= \Delta(\text{Humidade absoluta}) \times \frac{\text{Caudal ar entrada}}{\text{Volume específico entrada}} \\
 &= (0,00988 - 0,00792) \times \frac{64,8}{0,87} \\
 &= 0,146 \text{ kg H}_2\text{O/h} \cong \mathbf{0,15 \text{ l/h}}
 \end{aligned}$$

Representando o sistema num diagrama de blocos:



Condições 2 ($T=15^{\circ}\text{C}$; $\text{HR}=20\%$)

A situação seguinte envolve as ações de aquecimento e humedificação. A análise efetuada permite conhecer as várias hipóteses de ações a tomar para atingir o estado pretendido.

Numa primeira abordagem, considera-se uma humedificação adiabática, seguida de aquecimento sensível do ar humedificado.

A transformação 1-2 é bastante semelhante à efetuada no exemplo anterior, sendo o procedimento de cálculo idêntico.

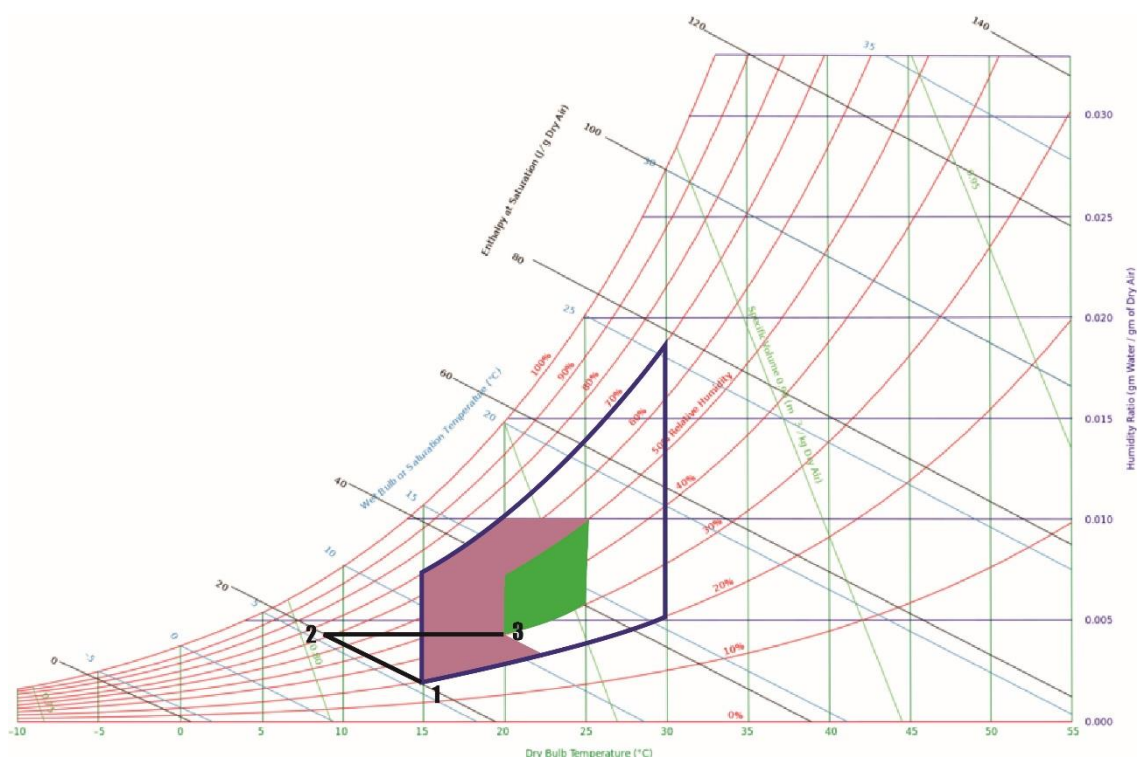


Figura 25 - Carta psicrométrica - Humidificação e aquecimento

Tabela 13 - Condições 2A - Caracterização Ar (1-2)

	1-Ar Entrada	2-Ar Saída
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	15	8,9
Humidade relativa (%)	20	61,5
Humidade absoluta (kg H_2O /kg ar seco)	0,0021	0,00434
Volume específico (m^3/kg ar seco)	0,819	0,805

$$\begin{aligned}
 \text{Taxa de evaporação} &= \Delta(\text{Humidade absoluta}) \times \frac{\text{Caudal ar entrada}}{\text{Volume específico entrada}} \\
 &= (0,00434 - 0,0021) \times \frac{64,8}{0,819} \\
 &= 0,177 \text{ kg } H_2O/h \cong \mathbf{0,18 \text{ l/h}}
 \end{aligned}$$

Na transformação 2-3 ocorre o aquecimento sensível do ar, ou seja, sem alteração na sua humidade absoluta.

Tabela 14 - Condições 2A - Caracterização do ar (processo 2-3)

	2-Ar entrada	3-Ar saída
Temperatura (°C)	8,9	20
Humidade relativa (%)	61,5	30
Volume específico (m³/kg ar seco)	0,805	0,836
Entalpia (kJ/kg ar seco)	20	31,12

Representando o sistema num diagrama de blocos:

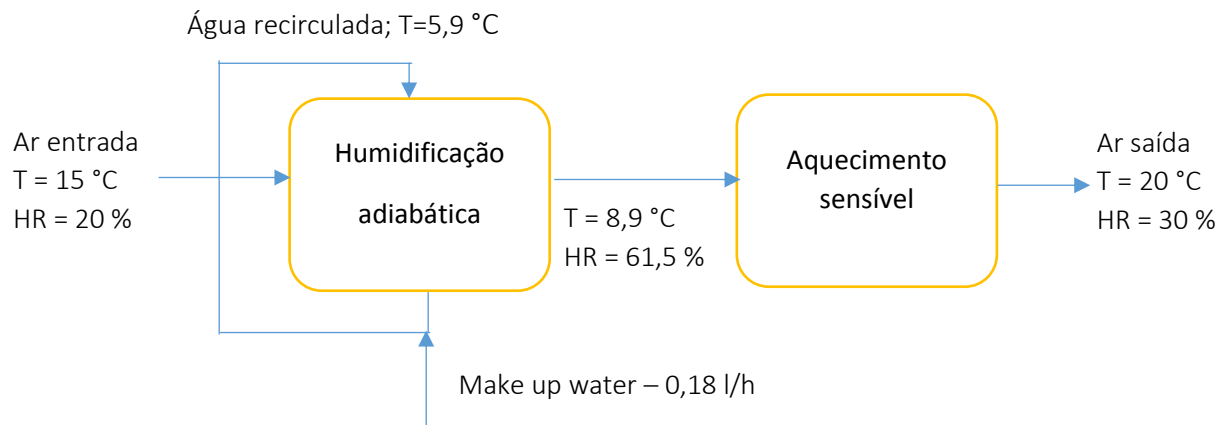


Figura 26 – Diagrama – Humidificação adiabática e aquecimento

De seguida é considerada uma humidificação com água aquecida, sem necessidade de pós aquecimento do ar. Neste caso, existe uma passagem direta do ponto 1 ao ponto 3.

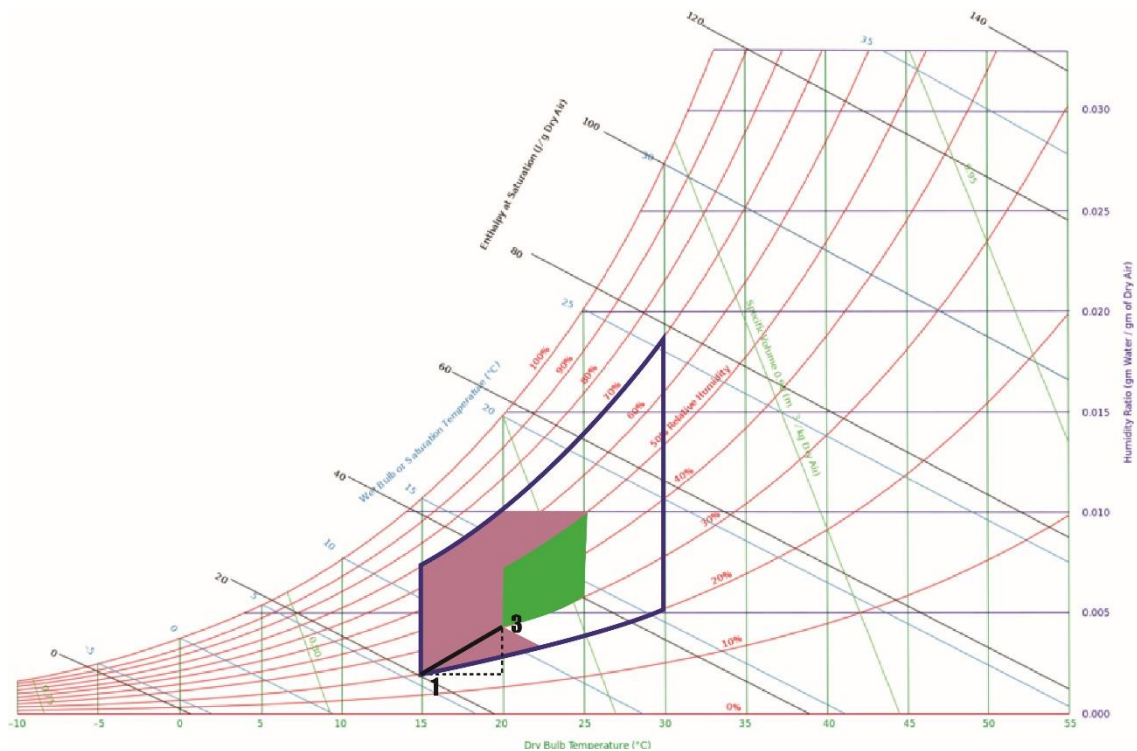


Figura 27 - Carta Psicométrica - Humidificação não adiabática

$$\begin{aligned}
 \text{Taxa de evaporação} &= \Delta(\text{Humidade absoluta}) \times \frac{\text{Caudal ar entrada}}{\text{Volume específico entrada}} \\
 &= (0,00434 - 0,0021) \times \frac{64,8}{0,819} \\
 &= 0,177 \text{ kg H}_2\text{O/h} \cong \mathbf{0,18 \text{ l/h}}
 \end{aligned}$$

Neste caso, a energia que é necessário fornecer ao sistema com vista à mudança de condições do ar pode ser decomposta em calor latente e calor sensível.

Representando o sistema num diagrama de blocos:

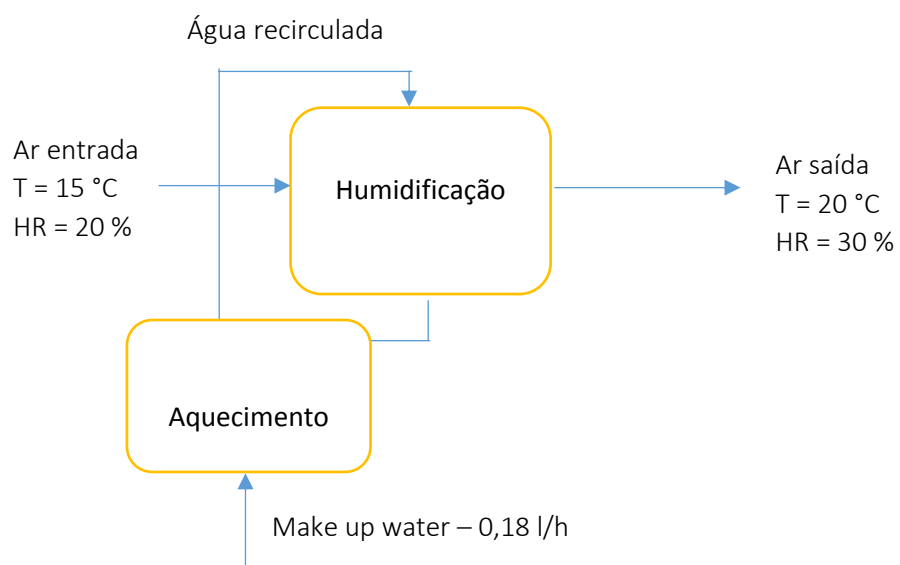


Figura 28 – Diagrama de blocos – Humidificação não adiabática

Outra das hipóteses é o pré-aquecimento do ar seco (1-2) para depois ser sujeito a humidificação adiabática (2-3).

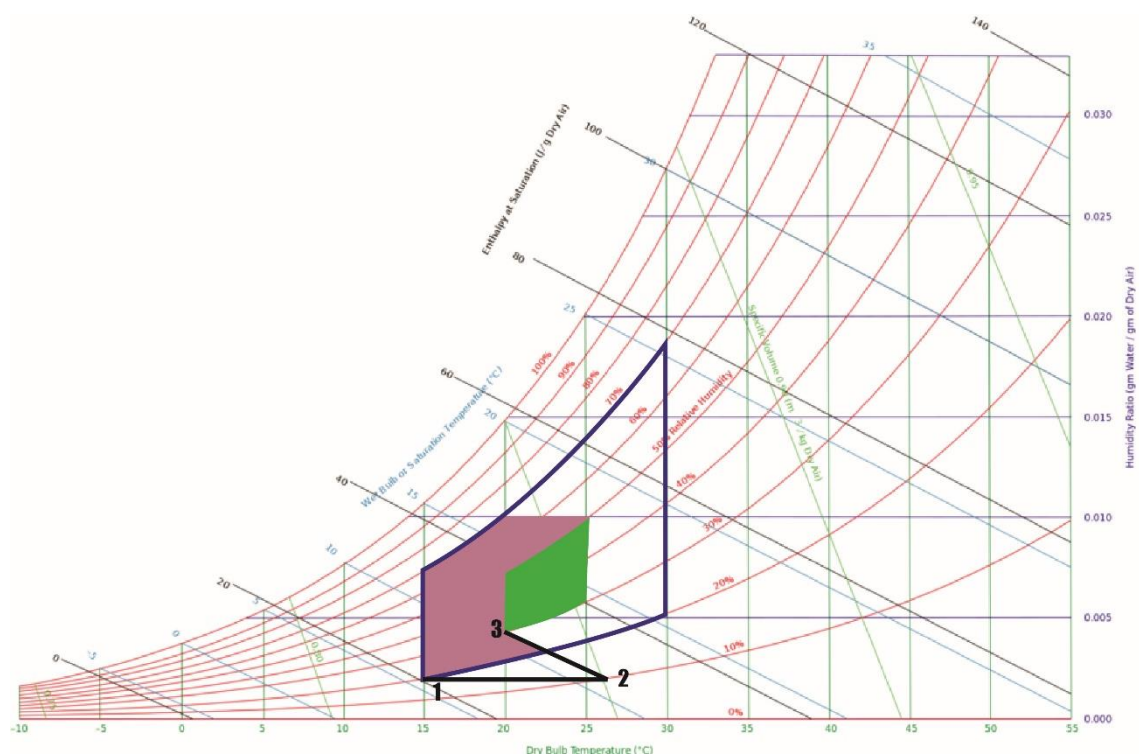


Figura 29 - Carta psicrométrica – Aquecimento e humidificação adiabática

Tabela 15 – Condições 2B – Características do ar (processo 1-2)

	1-Ar entrada	2-Ar saída
Temperatura (°C)	15	25,7
Humidade relativa (%)	20	10,2
Volume específico (m ³ /kg ar seco)	0,805	0,819
Entalpia (kJ/kg ar seco)	20	31,12

$$\text{Energia requirida} = \Delta \text{Entalpia} \times \frac{\text{Caudal ar entrada}}{\text{Volume específico entrada}}$$

$$= (31,12 - 20) \times \frac{64,8}{0,805} = 895 \text{ kJ/h} = \mathbf{0,249 \text{ kW}}$$

Tabela 16 – Condições 2B – Características do ar (processo 2-3)

	2-Ar entrada	3-Ar saída
Temperatura (°C)	25,7	20
Humidade relativa (%)	10,2	30
Humidade absoluta (kg H ₂ O/kg ar seco)	0,0021	0,00434
Volume específico (m ³ /kg ar seco)	0,819	0,836

$$\text{Taxa de evaporação} = \Delta(\text{Humidade absoluta}) \times \frac{\text{Caudal ar entrada}}{\text{Volume específico entrada}}$$

$$= (0,00434 - 0,0021) \times \frac{64,8}{0,819}$$

$$= 0,177 \text{ kg H}_2\text{O/h} \cong \mathbf{0,18 \text{ l/h}}$$

Representando o sistema num diagrama de blocos:

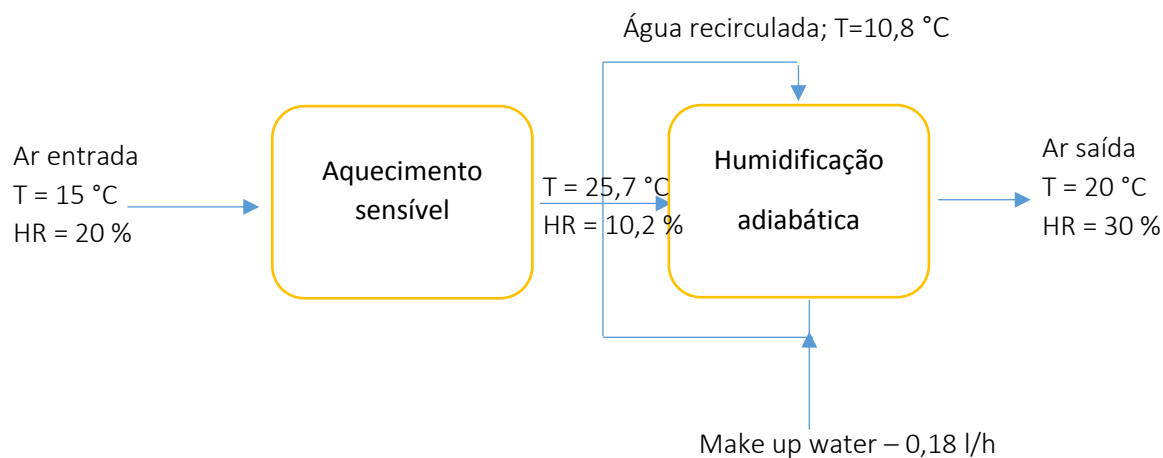


Figura 30 – Diagrama de blocos – Aquecimento e humidificação adiabática

Condições 3 (T=21°C; HR=70%)

Apesar do ar nestas condições só necessitar de uma desumidificação adiabática, ele vai ser forçosamente humidificado ao passar pela fase de purificação com gotículas de água, estando o seu estado saída no ponto 2 dependente do sistema de spray escolhido.

Tabela 17 – Condições 3 – Características do ar

	1-Ar entrada	Ar saturado
Temperatura (°C)	21	17,3
Humidade relativa (%)	70	100
Humidade absoluta (kg H ₂ O/kg ar seco)	0,01088	0,01237
Entalpia (kJ/kg ar seco)	48,74	48,74

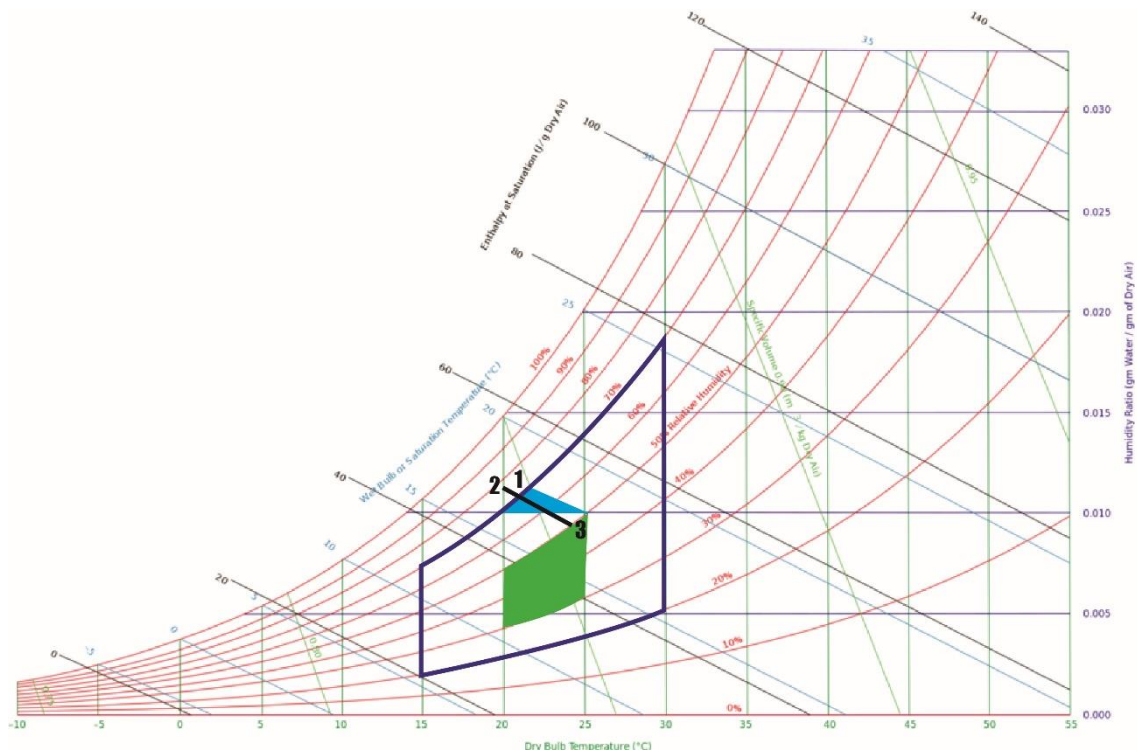


Figura 31 – Carta psicrométrica – Humidificação e desumidificação

Representando o sistema num diagrama de blocos:

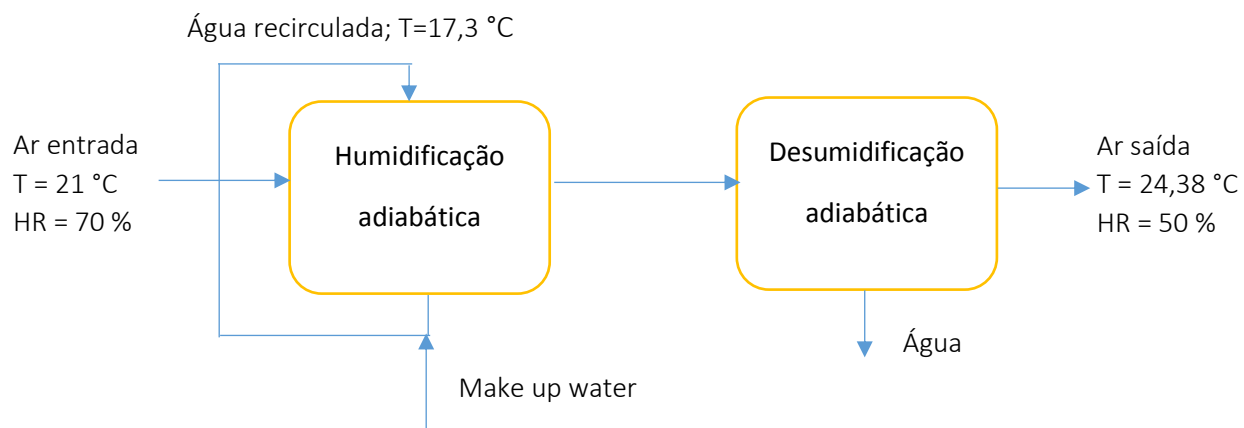


Figura 32 – Diagrama de blocos – Condições 3

5.1 Câmara de spray - Purificação e humidificação

Equações de transferência de massa e calor para a câmara de spray

Para a correta seleção dos bocais de spray a utilizar na câmara de purificação, foram realizadas simulações que preveem as trocas de massa e calor entre as gotículas de água e o ar circundante. Para o efeito foi utilizado o seguinte modelo:

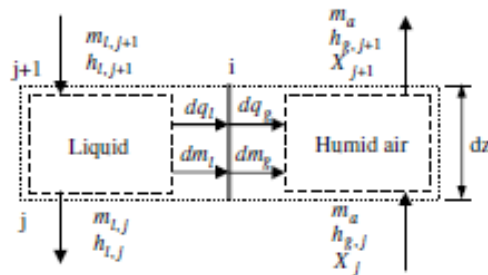


Figura 33 – Representação do modelo em torre de altura dz (XuXiao& Wang, 2007)

A Figura 38, representa a troca de massa e calor entre as gotas de água - que para simplificação de cálculos são tratadas como um fluido contínuo - e o ar húmido, que circula em contracorrente.

A interface i representa a zona de contacto entre a água e o ar, onde ocorrem as trocas de massa e calor.

A altura de torre efetiva, z, corresponde à distância entre o bocal de spray e a entrada de ar.

A primeira equação dá a conhecer a taxa de transferência de massa de água para o ar, relacionando a variação da humidade absoluta do ar com o caudal mássico de ar seco.

Conservação de massa de água no ar húmido (Xu et al., 2007):

$$\dot{m}_a \cdot (X_{j+1} - X_j) = d\dot{m}_g \quad (5.1)$$

A equação de transferência de massa (Xu et al., 2007) considera a variação de humidade absoluta entre as condições de saturação (interface) \bar{X}_i e o valor médio (entre X_{j+1} e X_j) \bar{X} , relacionando-as com fatores dimensionais da coluna, área superficial das gotas e coeficiente de transferência de massa.

$$d\dot{m}_g = \rho_g \cdot k_h \cdot a_v \cdot (\bar{X}_i - \bar{X}) \cdot A \cdot dz \quad (5.2)$$

O número de Reynolds, necessário noutras expressões, é baseado no diâmetro da gota e na velocidade da gota em relação à do ar (Xu et al., 2007).

$$Re = \frac{\rho_g \cdot d_d \cdot |u_d - u_g|}{\mu_g} \quad (5.3)$$

Uma vez que os dados fornecidos pelo fabricante não incluem a velocidade inicial das gotículas, esta foi calculada utilizando as fórmulas citadas em (Silva et al., 2004), estabelecendo a relação entre o caudal mássico de água e a área de passagem efetiva da mesma no atomizador.

$$u_{d0} = \frac{\dot{m}_l}{FN \cdot \rho_l} \quad (5.4)$$

$$FN = \frac{\dot{m}_l}{(\Delta P \cdot \rho_l)^{0,5}} \quad (5.5)$$

O coeficiente de difusividade mássica do vapor de água no ar é necessário para o cálculo do coeficiente de transferência de massa, e é obtido pela relação desenvolvida por Bird et al. e citada por (Xu et al., 2007):

$$D_{ab} = (P_{cg} \cdot P_{cv})^{1/3} \cdot (T_{cg} \cdot T_{cv})^{5/12} \cdot \left(\frac{1}{M_g} + \frac{1}{M_v} \right)^{1/2} \cdot a_1 \cdot \left(\frac{T_g}{\sqrt{T_{cg} \cdot T_{cv}}} \right)^{a_2} \cdot \frac{1}{P} \quad (5.6)$$

onde, para conjuntos entre água e um gás apolar, a constante a_1 é igual a $3,64 \times 10^{-4}$ e a_2 é igual a 2,334.

Para gotas que evaporam num fluxo de ar, sofrendo trocas de massa e calor, os coeficientes de transferência k_h e h podem ser representados por (Xu et al., 2007):

$$Sh = \frac{k_{hg} \cdot d_d}{D_{ab}} = 2.0 + c \cdot Re^x \cdot Sc^y \quad (5.7)$$

$$Nu = \frac{h_{cg} \cdot d_d}{k_g} = 2.0 + c \cdot Re^x \cdot Pr^y \quad (5.8)$$

Para baixas pressões ou pressões atmosféricas, em que $2 \leq Re \leq 200$, como as utilizadas no caso em estudo, as constantes podem ser definidas pelas correlações desenvolvidas por Ranz e Marshall e citadas por (Xu et al., 2007), com $c = 0,6$ e $\gamma = x = 0,5$.

Os números de Schmidt e de Prandtl podem ser representados respetivamente, por (Xu et al., 2007):

$$Sc = \frac{\mu_g}{\rho_g \cdot D_{ab}} \quad (5.9)$$

$$Pr = \frac{C_{p,g} \cdot \mu_g}{k_g} \quad (5.10)$$

em que é utilizado o coeficiente de difusidade anteriormente calculado, e o calor específico do ar nas condições de entrada.

A área de contacto volumétrico (equação 6.11) representa a área superficial das gotas por m^3 de volume da torre (Xu et al., 2007), e é definida entre outros, pelo diâmetro médio de Sauter d_{32} , que neste caso representa o diâmetro médio das gotículas de água formadas no spray, sendo que são formadas gotículas de água de variados tamanhos e com diferentes velocidades iniciais. Este parâmetro (d_{32}) é determinado experimentalmente pelos fabricantes de bocais de spray, sendo disponibilizado em catálogos para consulta.

$$a_v = \frac{6 \cdot \dot{m}_l}{d_{32} \cdot \rho_l \cdot u_d \cdot A} \quad (5.11)$$

Seleção de componentes

Para a seleção de componentes foram consideradas sucessivas alterações/iterações de projeto, de forma a alcançar a melhor solução para o sistema.

A principal premissa a ter em conta é a humidade absoluta do ar à saída nas condições 2 (0,00434 kg/kg), já que representa a maior quantidade de água a ser transferida para o ar, correspondendo esta à capacidade máxima de humidificação a desempenhar pelo sistema.

As dimensões da câmara de spray foram fixadas em 0,2 m de altura (z), e 0,02 m^2 de área de secção transversal (A).

Para garantir uma redução eficaz no número de partículas suspensas no ar, foi estabelecido um diâmetro mínimo de gota de 300 μm .

Hipótese 1

Primeiramente foi considerado um sistema com 1 bocal de spray, alimentado por água à temperatura ambiente, a uma pressão variável com um máximo de 2 MPa.

Com os dados disponíveis no catálogo do fornecedor (Ikeuchi, H & Co., n.d.), foi calculado o valor de humidade absoluta do ar à saída do equipamento para vários bocais de spray.

O gráfico seguinte apresenta um estudo da performance dos vários bocais de spray, efetuando-se uma análise da humidade do ar à saída em função da pressão de entrada da água utilizada.

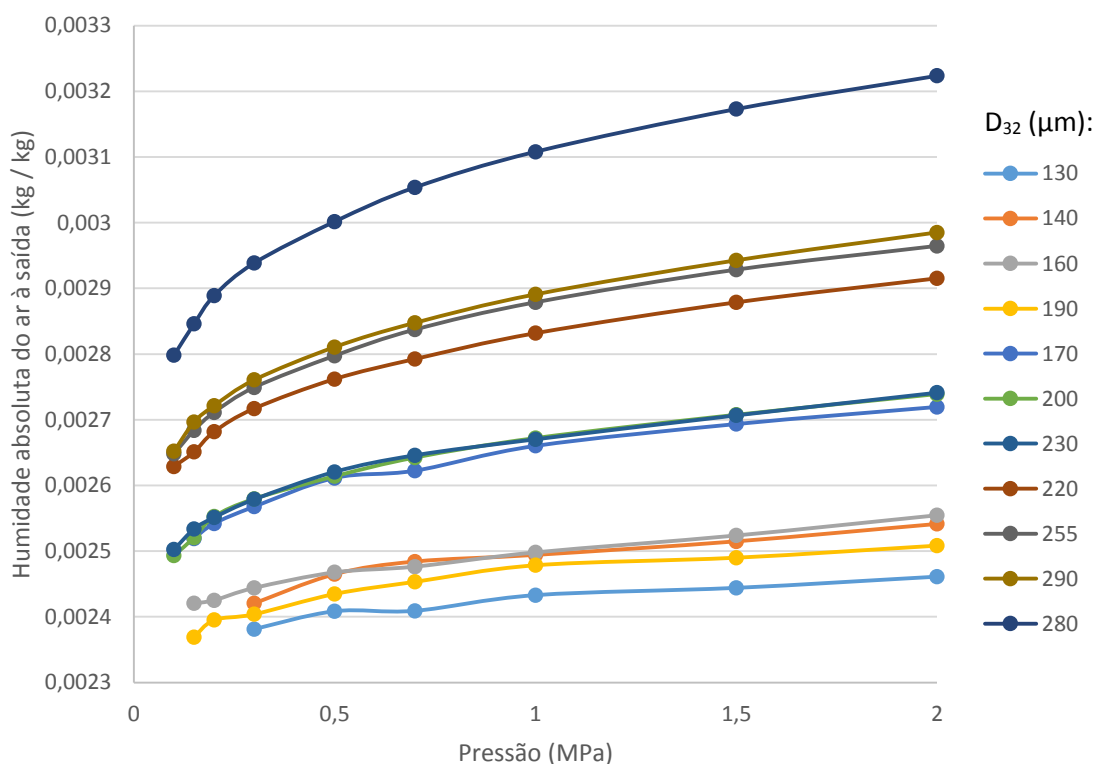


Figura 34 - Comparação performativa de vários bocais de spray

A partir da Figura 39 pode-se concluir que em termos práticos o menor diâmetro das gotículas nem sempre se traduz numa maior humidificação do ar, uma vez que bocais menores sujeitos a igual pressão vão acarretar menores quantidades de água, diminuindo a relação ar/água. Existindo estas exceções, torna-se importante a análise individual dos bocais de spray.

Pela análise efetuada, o bocal de spray mais eficaz na humidificação é o que produz gotas de diâmetro 280 μm , atingido o valor máximo de humidade absoluta do ar à saída de 0,00322 kg água/ kg de ar seco.

Estando o valor da humidade absoluta do ar aquém do desejado, foi considerada a hipótese seguinte.

Hipótese 2

Para uma maior humidificação, e conseqüente purificação do ar, foi adicionado ao sistema um segundo bocal de spray.

A alimentação continua a ser feita à temperatura ambiente e a pressão máxima total mantém-se nos 2 MPa.

Na figura 40, encontra-se uma comparação entre possíveis conjuntos de bocais. No eixo das abcissas está o diâmetro da gota produzida pelo bocal, a linha vertical representa o intervalo de valores possíveis de alcançar combinando esse bocal com todos os outros, e a bola verde indica o valor médio desse intervalo. São consideradas todas as pressões de entrada da água até um total de 2 MPa.

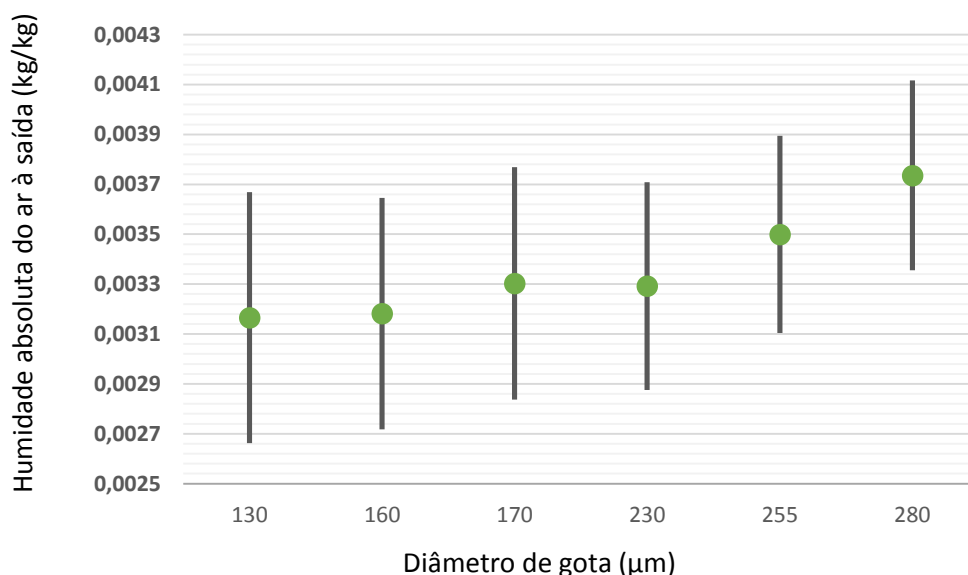


Figura 35 - Comparação performativa de pares de bocais de spray (sem aquecimento)

Neste caso, o valor máximo é alcançado combinando dois bocais de 280 μm a 1 MPa de pressão, sendo a humidade absoluta do ar à saída de 0,00412 kg água/ kg de ar seco.

Não sendo este o valor pretendido, considerou-se uma outra hipótese.

Hipótese 3

Na terceira hipótese, acrescentou-se ao reservatório de água um aquecedor. Deste modo, o aumento da temperatura da água promove a humidificação, aumentando também o espetro de atuação e o controlo sobre o processo. Além disso, pode-se fornecer diretamente ao ar o aumento de temperatura desejado, saindo assim do aparelho com a temperatura e humidade relativa dentro do intervalo aconselhado.

Assim, a alimentação de água é feita a temperatura variável, e a pressão máxima total mantém-se nos 2 MPa.

Na Figura 41, encontra-se uma comparação entre possíveis conjuntos de bocais. Cada linha vertical representa um par de bocais. Como legenda, sobre cada linha vertical encontra-se o diâmetro de gota produzido por cada bocal. No eixo das abcissas lê-se a pressão total necessária para atingir o valor de humidade de saída pretendido. A linha vertical representa o intervalo de valores possíveis de alcançar com essa combinação de bocais, sendo consideradas todas as pressões até um máximo total de 1,5 MPa. A bola verde indica o valor de humidade absoluta desejado.

Na construção da Figura 41 só foram considerados os conjuntos de bocais de spray que atingem o valor desejado de humidade absoluta do ar à saída.

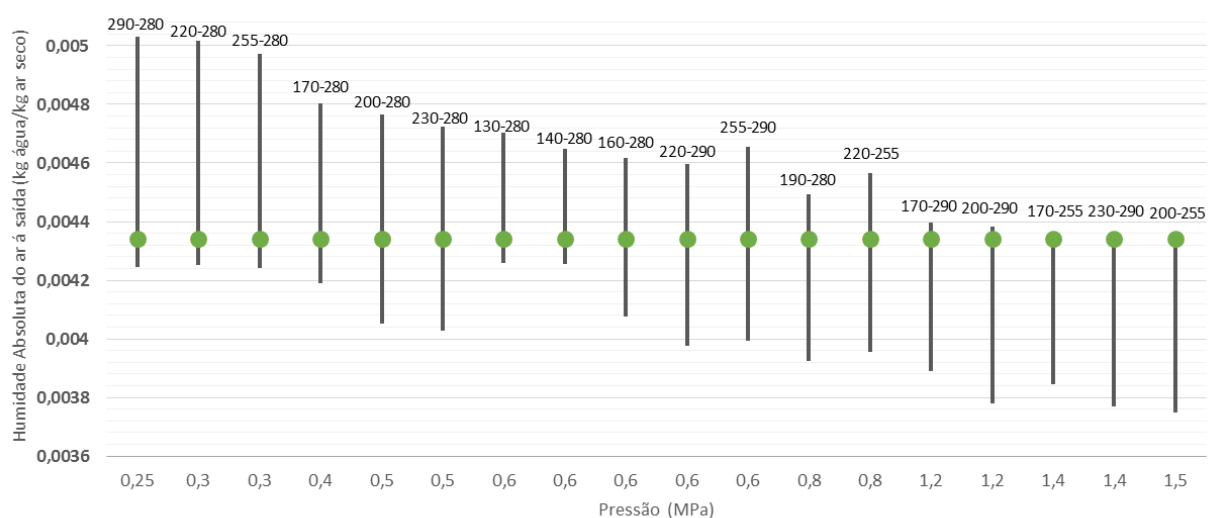


Figura 36 - Análise performativa de conjuntos de spray (com aquecimento)

Dado que o valor alvo para as condições 2 seria o valor máximo a respeitar, faz sentido selecionar um conjunto de bocais cuja capacidade de humidificação máxima nestas condições esteja próxima desse valor. O intervalo de atuação também é importante, pois permite ao sistema ser mais flexível, funcionando numa maior amplitude de condições. A maior diversidade de diâmetro das gotículas promove a remoção de partículas de mais variadas dimensões, o que aumenta a eficácia na purificação.

Assim, o conjunto mais adequado de bocais é o de 200 e 255 μm , que atinge o objetivo com uma pressão total de 1,5 MPa, e água a 37°C.

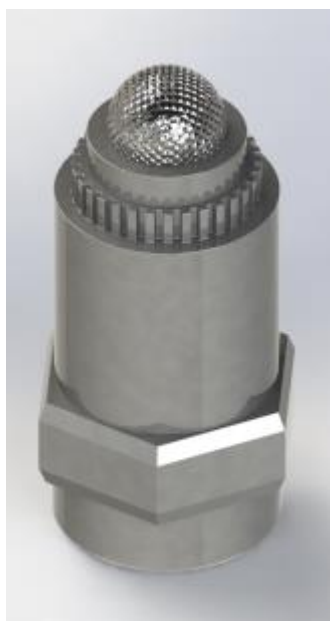


Figura 37 - Modelação bocal de spray

5.2 Bomba – Fornecimento de água em pressão aos bocais de spray

Para o fornecimento de água aos bocais de spray é necessária uma bomba. Pelos cálculos anteriores, em condições de limite máximo, a bomba terá de ejetar água pressurizada à pressão de 1,5 MPa.

A bomba selecionada é do tipo magnético e possui uma capacidade de pressão máxima de 2 MPa e uma potência de 23,6 W. É silenciosa e enquadra-se nas dimensões do aparelho, sendo potente mas pequena. É resistente à corrosão, e adequa-se à utilização de líquidos quentes (Clark Solutions, n.d.).



Figura 38 - Modelação bomba

5.3 Resistência de aquecimento – Aquecimento de água

Equações de transferência de calor entre uma resistência e água

Para a correta seleção de uma resistência de aquecimento de água, é necessário conhecer a potência térmica necessária.

A potência térmica é dada pela relação entre o calor necessário e o intervalo de tempo disponível para a transferência ocorrer.

$$P_{ot} = \frac{Q}{\Delta t} \quad (6.12)$$

O calor necessário pode ser calculado pela multiplicação da massa de água, calor específico da água e variação de temperatura.

$$Q = m_l \cdot c_{pl} \cdot \Delta T \quad (6.13)$$

A partir das duas equações anteriores, pode ser deduzida uma expressão com base no caudal mássico de água, deduzido anteriormente nos cálculos de humidificação.

$$P_{ot} = \dot{m}_l \cdot c_{pl} \cdot \Delta T \quad (6.14)$$

Seleção de componentes

A partir da equação anterior, pode-se afirmar que o pico de potência térmica necessária do sistema é de 2274 W.

A resistência selecionada é muito utilizada em máquinas de café de filtro, consiste numa tubagem metálica em contato com uma resistência térmica.



Figura 39 - Modelação de Resistência térmica

5.4 Sistema de desumidificação – Roda dessicante

Equações de transferência de calor e massa para a roda dessicante

Devido ao elevado número de variáveis na roda dessicante, é de grande interesse realizar simulações numéricas de forma a fazer o melhor dimensionamento possível.

A Figura 42 mostra um esquema da roda dessicante, onde são visíveis a zona de processo (maior) e a zona de regeneração (mais pequena). Em pormenor, é visível um esquema de uma camada de dessicante, onde é visível o formato em forma de favo de abelha bastante comum devido à sua simplicidade e grande área superficial (Zhang et al., 2003).

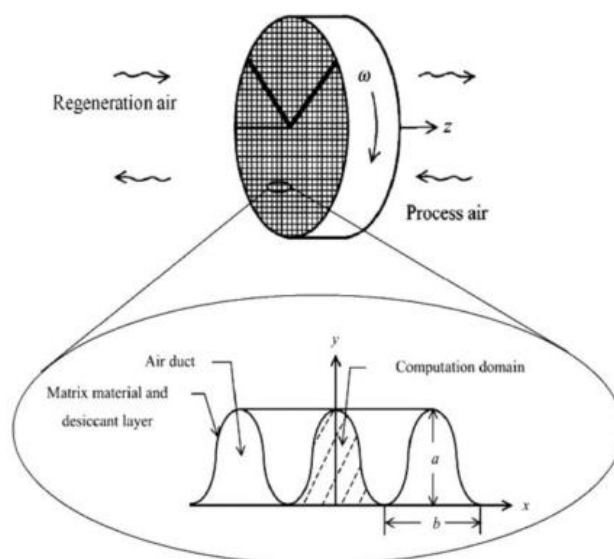


Figura 40 - Esquema da roda dessicante (DongLee& Mann, 2010)

O modelo numérico apresentado em seguida tem como hipóteses (Dong et al., 2010).

- O fluxo de ar é unidimensional
- A condução de calor e difusão de massa são ignorados
- Não existe derrame de fluido na roda dessicante
- Todas as condutas são impermeáveis e adiabáticas
- As propriedades termodinâmicas são constantes e uniformes
- Os coeficientes de transferência de massa e calor entre o ar e o dessicante é constante ao longo do canal

A equação de transferência de massa no ar processado é dada por (Dong et al., 2010):

$$\frac{\partial Y_a}{\partial l} = \frac{k_h \cdot Pe_p}{u_a \cdot \rho_a \cdot A_p} (Y_w - Y_a) \quad (5.15)$$

Integrando a equação obtém-se:

$$\frac{Y_{a0} - Y_a}{\Delta l} = \frac{k_h \cdot Pe_p}{u_a \cdot \rho_a \cdot A_p} (Y_w - \bar{Y}_a) \quad (5.16)$$

onde \bar{Y}_a representa o valor médio de Y entre Y_{a0} e Y_a .

A equação de conservação de energia para o ar de processo é (Dong et al., 2010):

$$(C_{pa} + Y_a \cdot C_{pv}) \frac{\partial T_a}{\partial l} = \frac{hc \cdot Pe_p}{u_a \cdot \rho_a \cdot A_p} (T_w - T_a) \quad (5.17)$$

À semelhança do realizado anteriormente:

$$(C_{pa} + \bar{Y}_a \cdot C_{pv}) \frac{T_{a0} - T_a}{\Delta l} = \frac{hc \cdot Pe_p}{u_a \cdot \rho_a \cdot A_p} (T_w - \bar{T}_a) \quad (5.18)$$

A conservação da massa de água no adsorvente tem como expressão (Dong et al., 2010):

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{k_h \cdot Pe_w}{\rho_w \cdot f_m \cdot A_w} (Y_a - Y_w) \quad (5.19)$$

Pelo que

$$(\Rightarrow) \frac{W_0 - W}{\Delta t} = \frac{k_h \cdot Pe_w}{\rho_w \cdot f_m \cdot A_w} (\bar{Y}_a - Y_w) \quad (5.20)$$

A expressão seguinte representa a conservação de energia no adsorvente (Dong et al., 2010):

$$(C_{pw} + f_m \cdot W \cdot C_{pl}) \frac{\partial T_a}{\partial t} = \frac{hc \cdot Pe_w}{\rho_w \cdot A_w} (T_a - T_w) + \frac{k_h \cdot h_{sor} \cdot Pe_w}{\rho_w \cdot A_w} (Y_a - Y_w) \quad (5.21)$$

Pelo que

$$\begin{aligned} (C_{pw} + f_m \cdot W \cdot C_{pl}) \frac{T_{a0} - T_a}{\Delta t} \\ = \frac{hc \cdot Pe_w}{\rho_w \cdot A_w} (\bar{T}_a - T_w) + \frac{k_h \cdot h_{sor} \cdot Pe_w}{\rho_w \cdot A_w} (\bar{Y}_a - Y_w) \end{aligned} \quad (5.22)$$

A relação entre a humidade do ar em equilíbrio com o dessicante e a quantidade de água no adsorvente pode ser estabelecida através da isotérmica utilizada para a sílica-gel como agente dessicante (Dong et al., 2010).

$$\phi_w = 0,0078 - 0,0576W + 24,2W^2 - 124W^3 + 204W^4 \quad (5.23)$$

$$Y_w = \frac{0,622\phi_w \cdot P_s}{P - \phi_w \cdot P} \quad (5.24)$$

Os coeficientes de transferência de massa e calor, k_h e h respetivamente, podem ser calculados independentemente, utilizado as seguintes expressões (Koronaki et al., 2016):

$$hc = \frac{Nu \cdot k_a}{D_h} \quad (5.25)$$

$$k_h = \frac{hc}{Le \cdot C_{pa}} \quad (5.26)$$

onde C_{pa} é o calor específico do ar, e o número de Lewis toma o valor de 1.

Para o cálculo do diâmetro hidráulico, D_h e do número de Nusselt, Nu usa-se a expressão (Dong et al., 2010):

$$\frac{D_h}{b} = (1,0542 - 0,466\alpha - 0,118\alpha^2 + 0,1794\alpha^3 - 0,0436\alpha^4)\alpha \quad (5.27)$$

$$Nu_T = 1,1791 \cdot (1 + 2,7701\alpha - 3,1901\alpha^2 - 1,9975\alpha^3 - 0,4966\alpha^4) \quad (5.28)$$

$$Nu_H = 1,903 \cdot (1 + 0,4556\alpha + 1,2111\alpha^2 - 1,6805\alpha^3 + 0,7724\alpha^4 - 0,1228\alpha^5) \quad (5.29)$$

$$Nu = \frac{Nu_T + Nu_H}{2} \quad (5.30)$$

em que $\alpha = a/b$

A partir das equações da câmara de spray estudadas anteriormente, foram calculadas as humidificações inerentes à purificação para as condições 1 e 3, de forma a encontrar o valor de maior desumidificação a atingir. Nas condições 3 o ar atinge a saturação, apresentando este a maior quantidade de água a retirar, cerca de $6,12 \times 10^{-5}$ kg/s.

Estando o sistema de desumidificação condicionado em termos dimensionais, é difícil uma desumidificação desejada pelas condições 3.

Assim, trata-se de conhecer a capacidade de desumidificação do sistema roda dessicante / módulo termoelétrico.

Devido à complexidade do sistema e de uma maior fiabilidade caso o estudo fosse conduzido experimentalmente, optou-se por não o realizar, constituindo esta uma das sugestões de trabalhos futuros.



Figura 41 - Modelação roda dessicante

5.5 Sistema de desumidificação – Módulo termoelétrico

O módulo termoelétrico deverá ter uma temperatura fria acima dos 0 °C, para evitar a formação de gelo. Essa fonte fria, onde ocorre a condensação do vapor de água deve ser customizada para uma forma com grande área superficial, e que facilite o decaimento das gotas de água precipitada por gravidade. A temperatura da face quente deverá rondar os 50 °C.

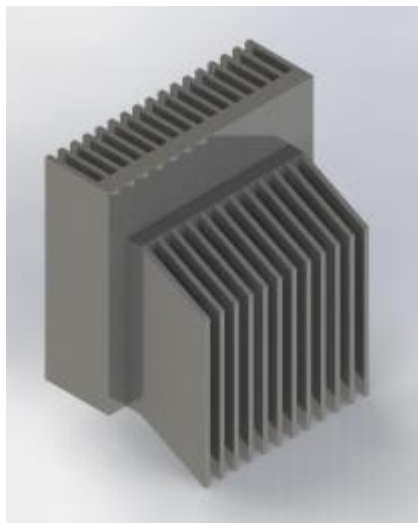


Figura 42 - Modelação módulo termoelétrico

5.6 Anel de luz UV – Desinfecção de Ar

A lâmpada de luz UV para desinfecção possui comprimentos de onda com pico nos 254 nm, existindo o cuidado de selecionar uma lâmpada não geradora de ozono. Pode ser facilmente customizada pelo fornecedor na forma pretendida, e traduz-se num gasto energético de cerca de 17 W.

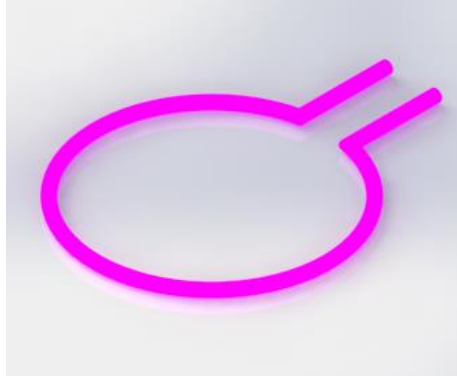


Figura 43 - Modelação lâmpada UVC

5.7 Mecanismo de estanque no reservatório de água

Para a manutenção do reservatório de água é necessário um mecanismo que impede a saída de água quando este se encontra fora do aparelho. O mecanismo escolhido é comumente utilizado em máquinas de café expresso, sendo constituído por uma mola, uma borracha vedante e uma peça que serve de tampão.



Figura 44 - mecanismo de estanque

6. Avaliação de desempenho

As condições iniciais, dadas anteriormente, são agora corrigidas, de acordo com os componentes selecionados para o produto

Em termos de humidificação, conseguiu-se expandir o intervalo, até valores de humidade mínimos de 6%.

A capacidade de aquecimento do sistema mantém-se sensivelmente inalterada.

Em termos de capacidade de desumidificação, seriam necessários estudos posteriores sobre o sistema, nomeadamente estudos experimentais.

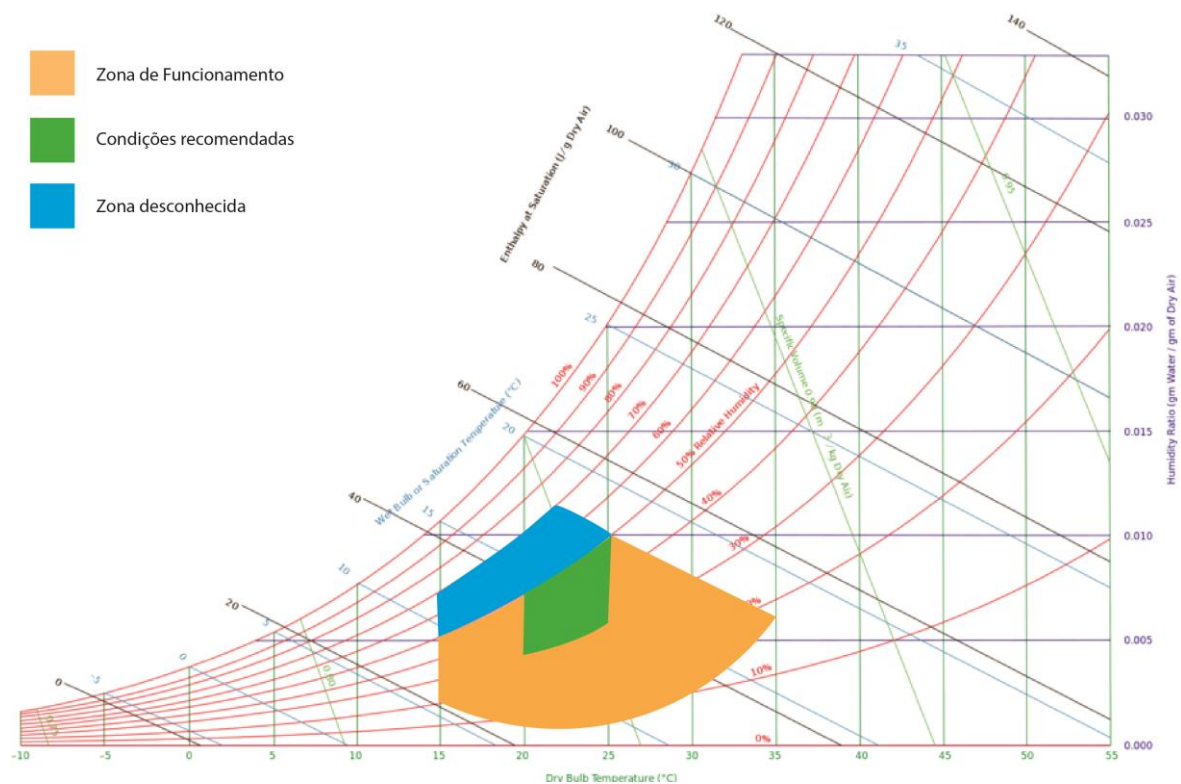


Figura 45 - Condições finais de funcionamento

7. Design

7.1 *Moodboard*

Como ponto de partida na procura da forma e personalidade de um produto, é útil a reunião de um conjunto de imagens, têxteis, sons ou cheiros que queiramos associar ao produto que se pretende desenvolver. Como tal, de seguida apresenta-se um mural de imagens, desde materiais a estados de espírito, que procuram ser transmitidos ao utilizador aquando do usufruto do equipamento

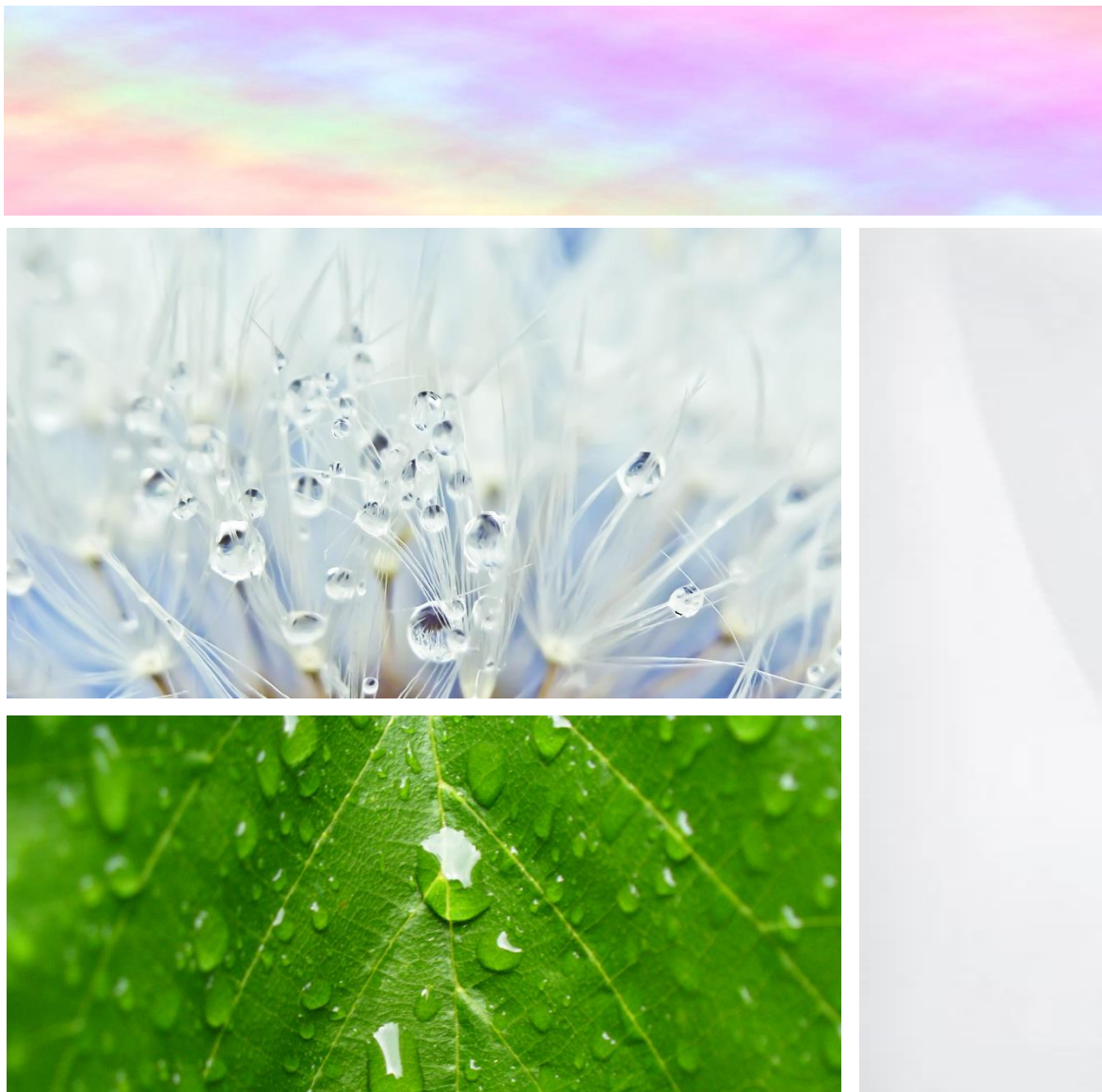


Figura 46 - Moodboard

No *moodboard* está representada a natureza, transparência e simplicidade. Os materiais são claros e brilhantes de forma ao produto ser percebido como limpo. A única cor forte é o verde das folhas, e o arco-íris pastel transmite tranquilidade. A presença de gotículas de água desperta sentimentos no utilizador, dada a sua primitividade e beleza.

7.2 Forma

Para este produto, a forma foi fortemente influenciada pela função.

O processo ocorre na vertical, como numa torre de arrefecimento. Assim, como ponto de partida, o produto toma a forma de um totem, sinal de proteção e segurança, que tem muito a ver com o seu propósito. Além disso, fica desde já diferenciado dos produtos concorrentes, que possuem, na sua grande maioria, a forma de caixa.



Figura 47 - Torres de arrefecimento

A câmara de humificação é transparente, o que permite ao utilizador observar o processo da queda das gotas, e, quem sabe, nas condições certas, um arco-íris.

Aquando dos primeiros passos na exploração da forma, a ideia era a conceção de um purificador de ar simples, não existindo portanto grandes preocupações ao nível de espaço para componentes.



Figura 48 - Esboço de ideia inicial

Os primeiros esboços focaram-se na procura da forma exterior, tendo como base de partida a forma de totem e a presença de uma câmara de spray transparente, para a observação das gotículas de água. Foi também desde o início tomada a decisão de adoção de uma forma orgânica, de forma a aproximar o mais possível o produto da natureza, para além de serem formas mais prazerosas para o cérebro humano, levando ao relaxamento. Uma das inspirações iniciais foi o banco tam tam do designer francês Henry Massonet criado em 1968, e que apesar de possuir uma forma simples, ainda hoje é apreciado e consumido em todo o mundo, integrando-se nos ambientes domésticos mais modernos.



Figura 49- Banco tam tam

Pode-se dizer que esta é também uma versão estilizada de uma torre de arrefecimento, sendo possível a adaptação do processo para esta forma, encontrando-se uma intersecção entre o belo e o funcional; entre o design e a engenharia.



Figura 50 - Esboços iniciais

Na recolha bibliográfica feita ao nível dos eletrodomésticos que lidam com o ar, os que mais me surpreenderam ao nível de inovação foram os exaustores de cozinha. Evoluíram imenso nos últimos anos, tornando-se mesmo irreconhecíveis.



Figura 51 - Exaustores

Este tipo de exaustor é inclinado, para facilitar o acesso ao fogão por parte do utilizador. Mas a característica mais fascinante é a ausência visível de grelhas. Embora estejam presentes por motivos estruturais, até porque estes equipamentos recorrem à utilização de filtros, estes não são perceptíveis. Somos então deixados com um friso muito mais estético e de fácil limpeza.

Para a aplicação destes conceitos ao meu produto, foi inclinado o painel de interface através de um corte transversal na forma, facilitando assim o acesso ao ecrã.

Como não poderia deixar de ser, a saída de ar foi adaptada, tomando a forma de friso no topo do aparelho.



Figura 52 - versão 1

A chaminé interior em forma de funil é rodeada por uma estrutura de ABS transparente que se prolonga pelas laterais até ao topo do equipamento.

Concluída a parte superior do produto, era necessária uma solução para a entrada de água e ar no aparelho. Foram projetados dois orifícios nas laterais da câmara de spray, de forma a poder ser feita a reposição de água através de um regador. Cada orifício possui um “telhado” inclinado que dificulta a saída de gotículas de água pelos orifícios.

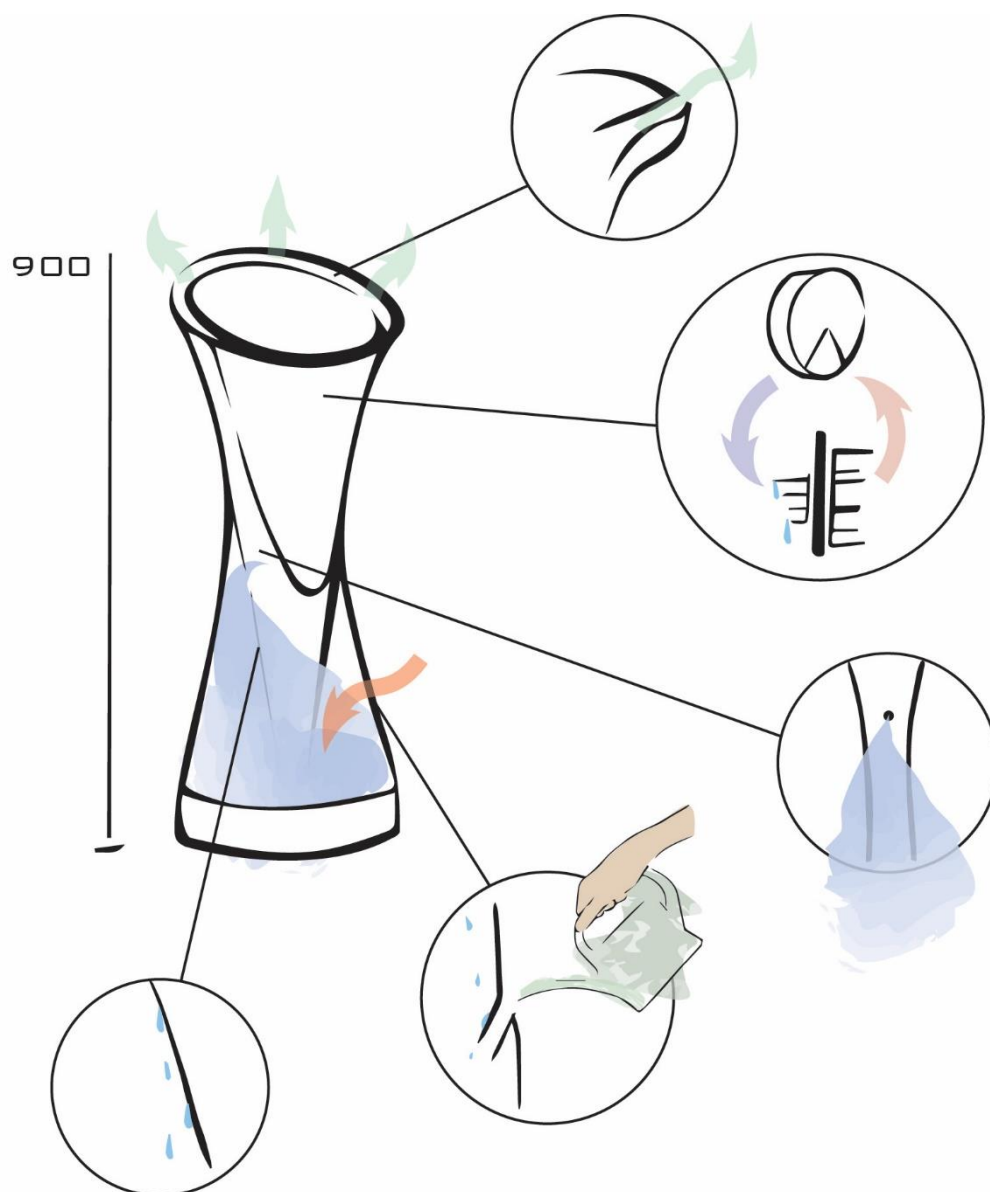


Figura 53 - Esboço versão 2

A altura do aparelho foi estimada em cerca de 900 milímetros, estando o seu limite superior situado aproximadamente ao nível do quadril de um utilizador adulto.

As paredes inclinadas promovem a movimentação de gotas que escorrem por força da gravidade.

Pequenas entradas permitem ao utilizador encher o reservatório com um regador, que remete para a natureza e para o cuidado.

O facto de as grelhas de passagem do ar estarem escondidas proporciona um afastamento ainda maior dos aparelhos de tratamento de ar convencionais.

O ecrã digital tátil é colocado no topo do aparelho, possuindo um ângulo de inclinação, que torna fácil o seu reconhecimento, leitura, utilização, e acessibilidade.

Dado este tratar-se de um aparelho de limpeza, era imperativo existir a possibilidade de recolha de detritos presentes na água. Assim, foi projetada uma gaveta, embutida na câmara de spray. Para possibilitar esta hipótese, foi prolongada a chaminé na parte posterior do equipamento.

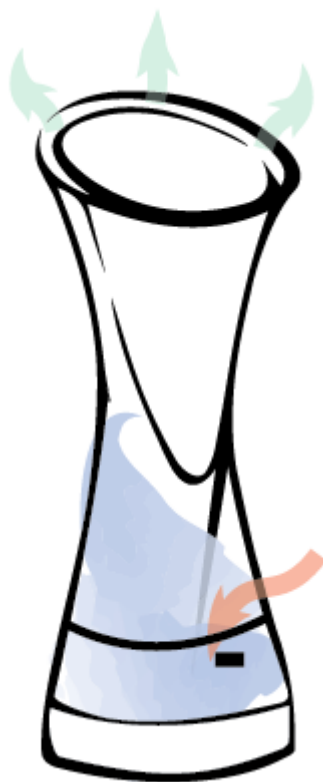


Figura 54 – Esboço versão 3

Dado o valor estético insatisfatório da proposta, foi considerada uma segunda solução, na qual o friso branco inferior foi ligeiramente prolongado, e o reservatório em forma de gaveta posicionado discretamente na parte posterior do aparelho. Foi também projetada uma superfície inclinada na base da câmara de spray, de forma a direcionar a água para o orifício que a liga ao reservatório.

À semelhança das atuais máquinas de café, o reservatório de água possui uma pega e um mecanismo de estanque que impede a água de verter quando o reservatório está fora da máquina em manutenção. O volume do reservatório é de cerca de 4,5 litros.

7.3 Painel de controlo

O painel de controlo é o meio de interação entre o utilizador e o aparelho. É através dele que são dados os inputs desejados e as condições do ar atuais.

Para este produto, adequa-se um painel de controlo intuitivo de design simples e minimalista à semelhança do restante. Os ecrãs táteis estão cada vez mais presentes no mundo da eletrónica, tendo vindo a substituir os interfaces por botões. Este tipo de solução torna o produto mais discreto e simples, já que não possui volume e a sua superfície lisa facilita a limpeza.

Através do *moodboard* anteriormente apresentado, foi escolhida a cor verde para contrastar com o branco gloss, estando esta presente através de luminária.

Quando ligado, em modo *stand-by* o ecrã tátil terá iluminado o anel verde à volta do ecrã e 3 símbolos que constituem os parâmetros programáveis, sendo eles a humidade, temperatura e velocidade de circulação do ar.

Em modo de funcionamento, cada parâmetro é programado tocando no símbolo respetivo.

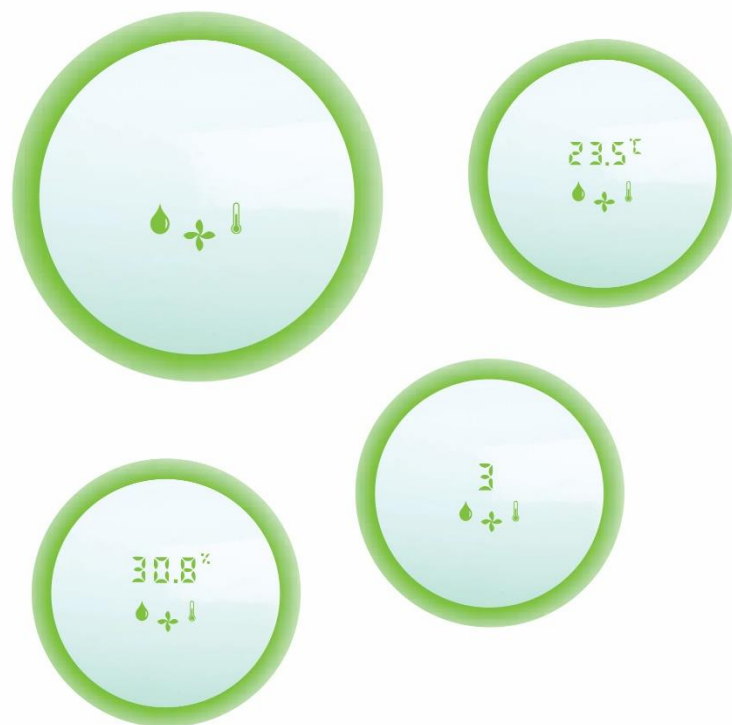


Figura 55 - Painel de controlo

A programação de cada parâmetro é conseguida arrastando o dedo para esquerda ou direita consoante o valor pretendido. Para colocar o aparelho em *stand-by* basta manter pressionados os dígitos.

Uma das maiores dificuldades na conceção da interface foi a grande área que existe disponível na superfície. Uma vez que não se justifica a utilização de um ecrã tátil que ocupasse o espaço todo, os ícones terão de ficar concentrados no centro. Apesar de a solução não ser muito estética, pode dotar o aparelho de um elemento discreto, já que não se impõe pela presença de fortes sinais luminosos, que podem incomodar algumas pessoas mais sensíveis.

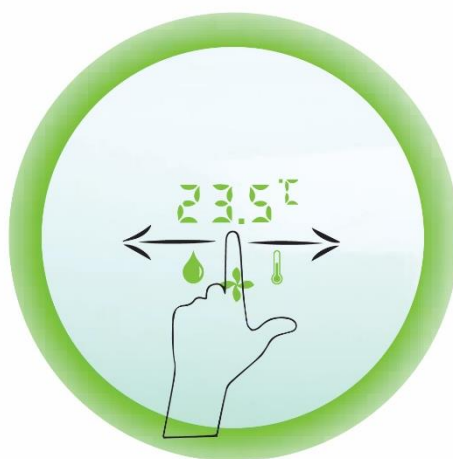


Figura 56 - Painel de controlo, interação

7.4 Prototipagem virtual

A prototipagem virtual no desenvolvimento de produto providencia uma forma rápida e barata de obter uma visualização do produto. Através da simulação da forma e materiais, podemos ter uma noção realista do aspeto exterior do produto. Por outro lado, permite uma maior segurança na organização do espaço físico no interior do aparelho, em termos de componentes, constituindo esta uma sólida base para a tomada de decisões. Para a realização do protótipo virtual foi utilizado o *software* SOLIDWORKS®.



Figura 57- Protótipo virtual



Figura 58 - Protótipo virtual vista traseira



Figura 59 – Protótipo virtual, vista aérea

7.5 Estudo cromático

Uma das vantagens de um protótipo virtual é a facilidade de simulação de diferentes materiais. Em seguida apresentam-se algumas sugestões, onde se manteve uma linha de brilho e se exploraram materiais que transmitem limpeza e simplicidade, como é o caso dos metais. A câmara de spray foi mantida em transparente em seguimento da filosofia pensada para o produto.

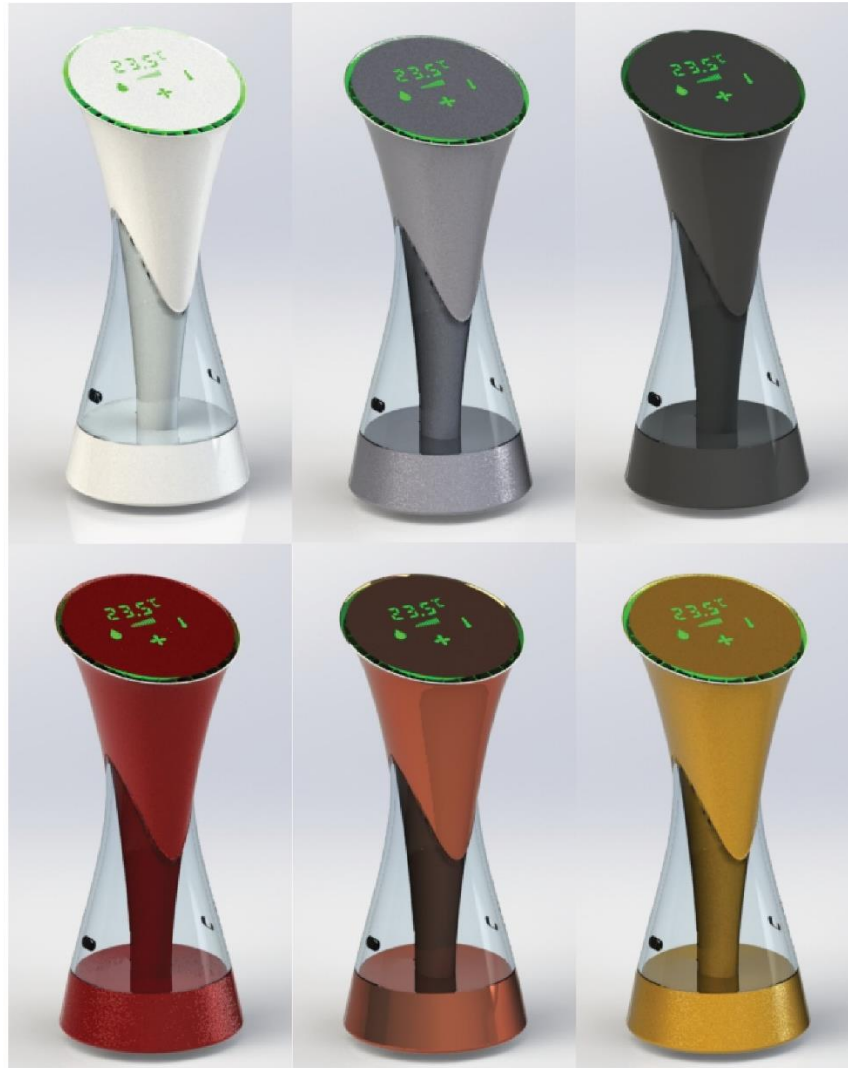


Figura 60 - Estudo cromático

7.6 Arquitetura do produto

A arquitetura do produto serve para localizar num equipamento as suas várias zonas funcionais. Neste caso, o equipamento é mostrado em duas vistas com 90° entre elas.

Começando pela parte de baixo, aí está localizada a parte eletrónica, bem como a bomba que recircula a água, a resistência de aquecimento e o reservatório de água em forma de gaveta.

A zona dos sprays encontra-se sensivelmente a meio da altura do equipamento, existindo uma distância de 200 mm desta até às entradas de ar mais abaixo.

Depois da fase de purificação e humedificação, o ar passa total ou parcialmente pelo canal central que não passa pela roda dessicante, dependendo se o ar vai ser ou não desumidificado. A regeneração do dessicante dá-se do lado que contém o módulo termoelétrico, e um pequeno ventilador que promove a circulação do ar nesse circuito de regeneração semi fechado.

À saída tem-se uma lâmpada UVC e o ventilador. O ecrã tátil encontra-se no topo do aparelho, suportado por uma estrutura em forma de grelha.

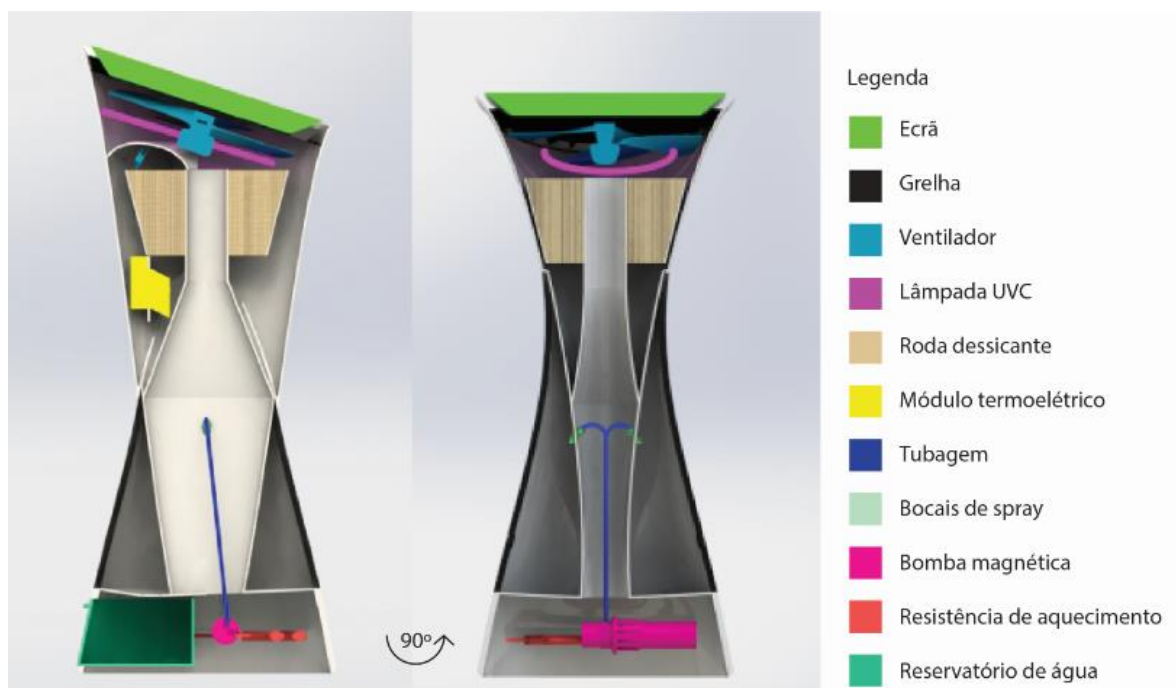


Figura 61 - Arquitetura do produto

7.7 Funcionamento do sistema

De seguida é apresentado um esquema para facilitar a compreensão do funcionamento do sistema.

O ar entra todo na base da câmara de spray (representado pelas setas verdes em baixo), depois de submetido a purificação e humedificação pode seguir um de dois caminhos, dependendo se vai ou não ser desumidificado.

Caso não seja desumidificado ele entra para a chaminé central (setas verdes), passando assim pelo centro da roda dessicante que está oco e portanto não produz qualquer efeito sobre o ar (seta verde no topo).

Caso o ar passe pelo estágio de desumidificação ele entra mais acima, não chegando a ter contacto com a chaminé interior (seta azul pequena), passa pela roda dessicante e sai comumente com o ar que não sofreu desumidificação.

A lâmpada de UVC encontra-se antes do ventilador, por onde passa todo o ar tratado.

As setas pequenas cor de laranja representam o circuito de regeneração da roda dessicante, que se encontra a funcionar em contracorrente dado ser este o método mais eficaz. Esse movimento de ar é potencializado por um pequeno ventilador. No módulo termoelétrico o lado com as lamelas inclinadas é o frio, que vai promover a condensação do vapor de água que escorre para a câmara de spray, através da gravidade e de pequenos orifícios na estrutura. O ar mais seco é aquecido para proceder à regeneração do material dessicante. A seta presente na roda dessicante representa o seu lento movimento de rotação.

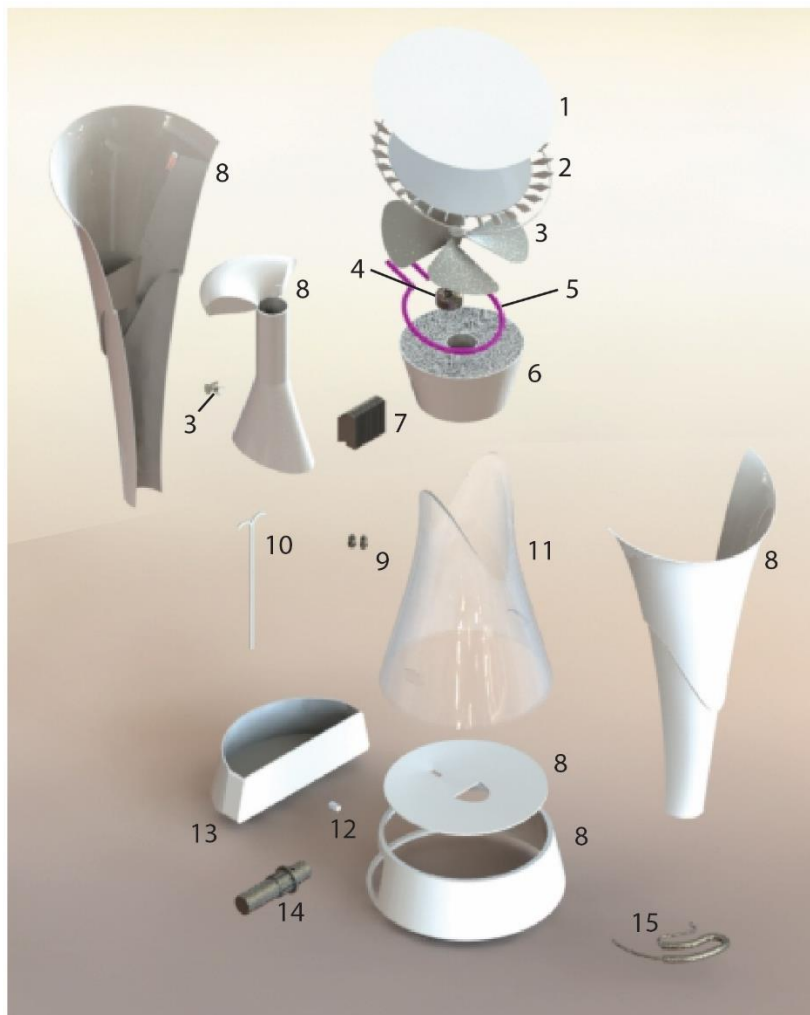
Os componentes a azul representam o circuito da água. Esta está presente num reservatório em forma de gaveta na parte inferior do aparelho. A água passa por uma resistência de aquecimento onde pode ou não ser aquecida. Impulsionada pela bomba magnética chega aos bocais de spray sob grande pressão onde é dispersa em forma de gotículas na câmara de spray. A água escorre por gravidade e é novamente direcionada para o reservatório através de uma superfície inclinada e um orifício na base da câmara.



Figura 62- Esquema de funcionamento

7.8 Vista explodida

A vista explodida permite conhecer os vários componentes do sistema e a construção da própria estrutura, dando pistas para a forma de montagem da mesma. Neste caso, a estrutura principal foi dividida em 5 partes de forma a possibilitar a produção e montagem do sistema.



Legenda

- 1 - Estrutura do ecrã
- 2 - Grelha
- 3 - Ventilador
- 4 - Motor
- 5 - Lâmpada UVC
- 6 - Roda dessicante
- 7 - Módulo termoelétrico
- 8 - Módulo estrutural
- 9 - Bocais de spray
- 10 - Tubagem
- 11 - Câmara de spray
- 12 - Mecanismo do reservatório
- 13 - Reservatório de água
- 14 - Bomba magnética
- 15 - Resistência de aquecimento

Figura 63 - Vista explodida

7.9 Fotorrealismo

Inserindo o protótipo virtual no ambiente onde se pretende introduzir o produto, permite enquadrar a imagem de forma a obter uma representação mais realista, tal como simular o efeito e nível de harmonia criada entre o produto e os vários ambientes em que se pretende inserir.

No primeiro caso, temos a típica sala familiar. Pode observar-se a presença de um cão no espaço, portador de possíveis alérgenos para as crianças. A sala muito iluminada, moderna maioritariamente branca e com apontamentos de cores vivas, não poderia estar mais de acordo com as linhas do produto, fundindo-se neste ambiente.



Figura 64 - Fotorrealismo 1

No caso seguinte a harmonização é em princípio mais difícil. Tratando-se de um espaço de cores quentes, existe um contraste entre as temperaturas do ambiente e do produto. Apesar disso, esta conjugação acaba por funcionar, aproximando o purificador das janelas. A transparência comum entre os dois, e a presença de verde através dessas mesmas janelas, criam uma aproximação entre eles.



Figura 65 - Fotorrealismo 2

O purificador de ar pode ser utilizado numa creche, onde as crianças se encontram sobre constante supervisonalização e ainda não possuem grande poder destrutivo.



Figura 66 - Fotorrealismo 3

Os escritórios são outro dos ambientes onde se enquadra a utilização do produto. Cada vez mais empenhadas na satisfação dos trabalhadores, para obtenção de maior produtividade, a maioria das organizações possuem instalações modernas, com muita iluminação natural e em *open-space*. O purificador integra-se com facilidade neste tipo de ambientes.



Figura 67 – Fotorrealismo 4

Em clínicas, consultórios ou qualquer prestador de serviços, um produto deste tipo revela uma preocupação extra para com o cliente. Estruturas arquitetónicas no espectro da saúde, tentam sempre transmitir uma ideia de limpeza e desinfeção, pela utilização de superfícies brancas e brilhantes com cores frias, que vai de encontro à filosofia do produto. Assim, este constitui um dos ambientes a que melhor se coaduna o produto.



Figura 68 – Fotorrealismo 5

8. Conclusões e sugestões de trabalhos futuros

O facto de não existir uma regulamentação comum dificulta a adoção de medidas com vista ao combate de más condições do ar interior. Ao respeitar as recomendações de todos os países, estar-se-ia a limitar demasiado o sistema. Assim, foi tida em conta apenas a regulamentação da norma europeia EN15251, que para alguns países europeus é algo discrepante com os valores nacionais.

Durante a pesquisa de benchmarking não foi encontrado no mercado um produto que purifique, desumidifique, humidifique e aqueça o ar. Os produtos híbridos encontrados apenas efetuam as funções de purificador e humidificador, mas nenhum com o sistema de lavagem de gases. O design neste tipo de aparelhos é muito semelhante, não existindo uma identidade própria. A forma de caixa é muito comumente utilizada representando uma grande oportunidade para diferenciação em termos de design, que foi facilmente conseguida.

Uma das limitações do sistema é não ser capaz de arrefecimento sensível. Apesar de ser possível um arrefecimento evaporativo do ar, este não satisfaz todas as condições do ar exterior encontrado, sendo necessária a utilização de um dispositivo de arrefecimento, como um ar condicionado, em conjunto com o sistema, caso que deseje um maior arrefecimento.

A colocação da resistência de aquecimento na água, ao invés de à saída da torre, deve-se a uma necessidade de maior humidificação e a uma forma de poupar espaço no topo do aparelho.

Ambos os processos de desumidificação abordados apresentam inconvenientes. O método da roda dessicante apresentava baixa eficiência para maiores temperaturas de ar exterior, além de libertar calor para o ambiente, quando o ideal seria uma desumidificação adiabática. A desumidificação termoelétrica apresenta piores rendimentos a baixas temperatura e humidade. Assim, ao recircular o ar de um sistema para o outro obtém-se o melhor de cada um, nunca existindo uma situação de baixa eficiência. A performance de regeneração do material dessicante passa a ser feita com sucesso, mesmo em ambientes mais húmidos e frios, e o ar chega ao módulo termoelétrico sempre com alta humidade relativa. De notar, que a junção dos dois componentes para a formação de um sistema de desumidificação mais eficiente foi inovadora. Não foi encontrado nenhum caso em que se utilize este conjunto.

A independência de funcionamento dos vários elementos do sistema tornam-no versátil e eficiente, com menor nível de desgaste de componentes, especialmente o sistema de desumidificação que é essencialmente fixo. O facto de não recorrer à utilização de filtros

reduz bastante os cuidados e gastos com manutenção, e a potência necessária para a movimentação do ar.

A bomba de água e a resistência de aquecimento podem chegar a valores de potência bastante elevados. Note-se que estes são valores máximos do aparelho que correspondem a picos de funcionamento em condições extremas e não ao seu estado normal de utilização. O aparelho em causa foi projetado para funcionar em conjunto com outros aparelhos de tratamento do ar, como aquecedores ou desumidificadores caso as condições do ar em causa o justifiquem. No inverno, quando por exemplo a casa é aquecida por radiadores, o ar interior fica quente e seco, enquadrando-se a utilização do produto para purificar e humidificar o ar. No verão, com a utilização de aparelhos de ar condicionado, o ar tende a ficar seco, sendo também neste caso adequada a utilização do produto para humidificar o ar interior. O purificador híbrido de ar, pode também servir para garantir que a divisão se encontra nas condições de humidade e temperatura desejadas, efetuando pequenos ajustamentos de que os outros equipamentos menos precisos não são capazes.

Devido às particularidades do sistema, em termos de tamanho reduzido e escolha de componentes, torna-se necessário levar a cabo uma experimentação para assegurar a performance do sistema de desumidificação, desenvolvê-lo e aperfeiçoá-lo. E, numa fase posterior, a simulação do processo completo. Seria bastante interessante estudar a eficiência de purificação, em especial se a solubilidade dos poluentes químicos em água tem algum impacto na diminuição dos níveis destes poluentes a nível prático. Assim, deixam-se então aqui algumas propostas de trabalho futuro.

9. Referências Bibliográficas

- Adan, O. C. G., Ng-A-Tham, J., Hanke, W., Sigsgaard, T., van den Hazel, P., & Wu, F. (2007). In search of a common European approach to a healthy indoor environment. *Environmental Health Perspectives*, 115(6), 983–988. doi:10.1289/ehp.8991.
- Airfree. (2016). Lotus. Acedido a 8 jul. 2016. Disponível em <https://www.allergiezoorg.nl/airfree-lotus>.
- Antonellis, S. De, Intini, M., Joppolo, C. M., Molinaroli, L., & Romano, F. (2015). Desiccant wheels for air humidification : An experimental and numerical analysis. *Energy Conversion and Management*, 106, 355–364. doi:10.1016/j.enconman.2015.09.034.
- Atmospheric Optics. ([s.d.]). Primary Rainbow drop size. Acedido a 13 jun. 2016. Disponível em <http://www.atoptics.co.uk/rainbows/primds.htm>.
- Bianchini, A., Cento, F., Golferà, L., Pellegrini, M., & Sacconi, C. (2016). Biomass and Bioenergy Performance analysis of different scrubber systems for removal of particulate emissions from a small size biomass boiler. *Biomass and Bioenergy*, 92, 31–39. doi:10.1016/j.biombioe.2016.06.005.
- Boneco. ([s.d.]-a). U700. Acedido a 3 dez. 2015. Disponível em <http://www.boneco.com/en/air-treatment-systems/humidifier/humidifier-ultrasonic-u700>.
- Boneco. ([s.d.]-b). H680. Acedido a 3 dez. 2015. Disponível em <http://www.boneco.com/en/products/air-treatment-systems/air-washer/humidifier-purifier-h680>.
- Chaurette, J. (2005). Tutorial centrifugal pump systems, (7867), 1–72.
- Clark Solutions. ([s.d.]). Ficha técnica - MG200 Gear Pump With DC Motor.
- Coulson, J., & Richardson, J. (1999). *Chemical Engineering, Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer* (6 th.). BH.
- Ctrltech. (2015). Difference between desiccant & refrigerant type Industrial dehumidifier. Acedido a 20 jun. 2001. Disponível em <http://www.dehumidifier-uae.com/industrial-dehumidifier/industrial-dehumidifier-vs-desiccant-commercial-dehumidifier>.
- DATWiki. ([s.d.]). Gear pump. Acedido a Disponível em <http://www.datwiki.net/page.php?id=7463&find=spur gear pump&searching=yes>.
- Dimitroulopoulou, C., & Bartzis, J. (2014). Ventilation rates in European office buildings: A review. *Indoor and Built Environment*, 23(1), 5–25. doi:10.1177/1420326X13481786.
- Dong, J., Lee, D., & Mann, S. (2010). Optimization of desiccant wheel speed and area ratio of regeneration to dehumidification as a function of regeneration temperature.

- Solar Energy*, 83(5), 625–635. doi:10.1016/j.solener.2008.10.011.
- Dybdahl, P., Bach, P., & Jensen, A. D. (2008). Two-fluid spray atomisation and pneumatic nozzles for fluid bed coating / agglomeration purposes : A review, 63, 3821–3842. doi:10.1016/j.ces.2008.04.014.
- Ebay. ([s.d.]). Peltier Technology. Acedido a 6 mar. 2016. Disponível em http://www.ebay.com/itm/Mini-Portatil-Peltier-Eletrico-Desumidificador-Secador-De-Ar-Silencioso-110v-220v-Compativel-/321801064054?_ul=BR.
- Empowering pumps. (2014). The Differences Between Centrifugal Pumps Vs. Positive Displacement Pumps. Acedido a 20 abr. 2016. Disponível em <http://empoweringpumps.com/differences-centrifugal-pumps-vs-positive-displacement-pumps/>.
- Eva-Dry. ([s.d.]). EVD 4000. Acedido a 5 dez. 2015. Disponível em <https://www.eva-dry.com/dehumidifiers/edv-4000-rotary-desiccant-dehumidifier/>.
- Franchi, M., Carrer, P., Kotzias, D., Rameckers, E. M. A. L., Seppänen, O., Van Bronswijk, J. E. M. H., ... Valovirta, E. (2006). Working towards healthy air in dwellings in Europe. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 61(7), 864–868. doi:10.1111/j.1398-9995.2006.01106.x.
- Ginja, J., Borrego, C., Coutinho, M., & Nunes, C. (2012). Qualidade do ar interior nas habitações Portuguesas. *CINCOS'12 - Congresso de Inovação na Construção Sustentável*, 1–10.
- Huajun, W., & Chengying, Q. (2010a). *Experimental study of operation performance of a low power thermoelectric cooling dehumidifier*. GEN. Disponível em <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=59309354&site=eds-live>.
- Huajun, W., & Chengying, Q. (2010b). Experimental study of operation performance of a low power thermoelectric cooling dehumidifier. *Internation journal of energy and environment*, 1(3), 459–466. doi:10.1016/S0031-9384(10)00122-8.
- Huang, L., Pu, Z., Li, M., & Sundell, J. (2015). Characterizing the indoor-outdoor relationship of fine particulate matter in non-heating season for urban residences in Beijing. *PLoS ONE*, 10(9), 1–18. doi:10.1371/journal.pone.0138559.
- IFA - Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. ([s.d.]). GESTIS Substance Database. Acedido a Disponível em [http://gestis-en.itrust.de/nxt/gateway.dll?f=templates\\$fn=default.htm\\$vid=gestiseng:sdbeng\\$3.0](http://gestis-en.itrust.de/nxt/gateway.dll?f=templates$fn=default.htm$vid=gestiseng:sdbeng$3.0)
- Ikeuchi, H & Co., L. ([s.d.]). Catalog on Hydraulic Spray Nozzles.
- Ivation. ([s.d.]). IVDM 45. Acedido a 20 dez. 2015. Disponível em <http://myivation.com/index.php/ivation-ivadm45-powerful-mid-size-thermo-electric-intelligent-dehumidifier-w-auto-humidistat.html>.
- Koistinen, K., Kotzias, D., Kephelopoulos, S., Schlitt, C., Carrer, P., Jantunen, M., ...

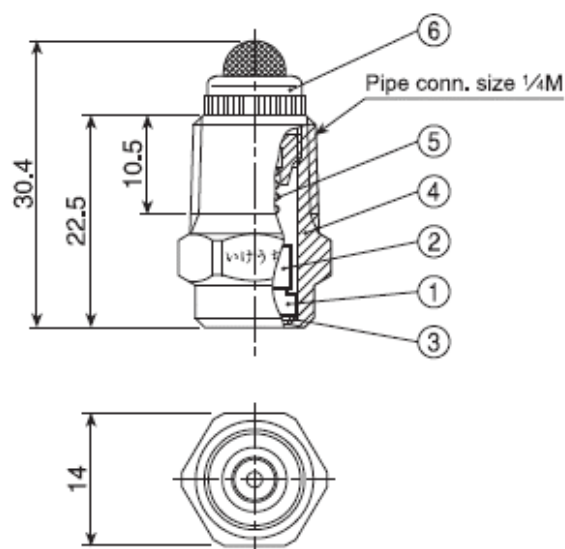
- Seifert, B. (2008). The INDEX project: Executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 63(7), 810–819. doi:10.1111/j.1398-9995.2008.01740.x.
- Kontonasiou, E., Mariottini, F., & Atanasiu, B. (2015). *Indoor air quality, thermal comfort and daylight. Analysis of residential building regulations in eight EU member states.*
- Koronaki, I. P., Papoutsis, E., Papaefthimiou, V., & Rogdakis, E. (2016). Numerical and experimental analysis of a solid desiccant wheel. *Thermal Science*, 20(2), 613–621. doi:10.2298/TSCI141118041K.
- Langer, S., Bekö, G., Bloom, E., Widheden, A., & Ekberg, L. (2015). Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden. *Building and Environment*, 93(P1), 92–100. doi:10.1016/j.buildenv.2015.02.004.
- Lee, K. H., & Kim, O. J. (2007). Analysis on the cooling performance of the thermoelectric micro-cooler, 50, 1982–1992. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.09.037.
- Liang, W., & Yang, X. (2013). Indoor formaldehyde in real buildings: Emission source identification, overall emission rate estimation, concentration increase and decay patterns. *Building and Environment*, 69, 114–120. doi:10.1016/j.buildenv.2013.08.009.
- Madureira, J., Paciência, I., Rufo, J., Ramos, E., Barros, H., Teixeira, J. P., & de Oliveira Fernandes, E. (2015). Indoor air quality in schools and its relationship with children's respiratory symptoms. *Atmospheric Environment*, 118, 145–156. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.07.028.
- Mendell, M. J., Mirer, A. G., Cheung, K., Tong, M., & Douwes, J. (2011). Respiratory and allergic health effects of dampness, mold, and dampness-related agents: A review of the epidemiologic evidence. *Environmental Health Perspectives*, 119(6), 748–756. doi:10.1289/ehp.1002410.
- Mendes, A., Bonassi, S., Aguiar, L., Pereira, C., Neves, P., Silva, S., ... Teixeira, J. P. (2015). Indoor air quality and thermal comfort in elderly care centers. *Urban Climate*, 14, 486–501. doi:10.1016/j.uclim.2014.07.005.
- Miguel, A., & Teixeira, B. (2009). Impacto da Norma de Conforto Europeia EN 15251 na certificação energética em edifícios de serviços.
- Newman, D. (2007). The Peltier Effect and Thermoelectric Cooling. Acedido a Disponível em http://ffden-2.phys.uaf.edu/212_spring2007.web.dir/sedona_price/phys_212_webproj_peltier.html.
- Ogawa, A. (2009). Psychrometric Chart. Acedido a 19 dez. 2015. Disponível em <https://en.wikipedia.org/wiki/Psychrometrics#/media/File:PsychrometricChart.Seal.evel.SI.svg>.
- Pelonis Technologies. inc. ([s.d.]). Catálogo - Ultra-High Temperature Ceramic Immersion Heaters.

- Plastics technology. (2014). Honeycombed desiccant wheel. Acedido a Disponível em http://d2n4wb9orp1vta.cloudfront.net/resources/images/cdn/cms/0514ptDRY_Bozzelli4.jpg.
- Salonen, H. J., Lappalainen, S. K., Riuttala, H. M., Tossavainen, A. P., Pasanen, P. O., & Reijula, K. E. (2009). Man-made vitreous fibers in office buildings in the Helsinki area. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 6(10), 624–631. doi:10.1080/15459620903133667.
- Siemens. ([s.d.]). Psychrometric Chart Structure and Application.
- Silva, A., Cunha Neto, J., & Lamberts, R. (2004). Modelling spray vaporization for evaporative cooling of buildings. *Building Serv. Eng. Res. Technol.*, 4(August 2003), 351–361.
- Sommer, R., & Araújo, R. M. (2014). Effect of UV irradiation (253,7 nm) on free Legionella and Legionella associated with its amoebae hosts. *Water research*, (67), 299–309. doi:10.1016/j.watres.2014.09.023.
- Stadler Form. (2013). Albert. Acedido a 19 nov. 2015. Disponível em <https://www.stadlerform.com/en-ch/products/air-dehumidifier/albert/information/>.
- Stadler Form. (2014). Robert. Acedido a 19 nov. 2015. Disponível em <https://www.stadlerform.com/en-ch/products/air-washer/robert/information/>.
- Stadler Form. (2015). Viktor. Acedido a 19 nov. 2015. Disponível em <https://www.stadlerform.com/en-ch/products/air-purifier/viktor/information/>.
- the physics classroom. ([s.d.]). Rainbow Formation. Acedido a 13 jun. 2016. Disponível em <http://www.physicsclassroom.com/class/refrn/Lesson-4/Rainbow-Formation>.
- Treybal, R. (1980). *Mass Transfer operations.pdf* (Third Edit.). McGraw-Hill Book Company.
- World Health Organization. (2000). *The right to healthy indoor air. Copenhagen, 2000*. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- Xu, Z., Xiao, Y., & Wang, Y. (2007). Experimental and theoretical studies on air humidification by a water spray at elevated pressure. *Applied Thermal Engineering*, 27(14–15), 2549–2558. doi:10.1016/j.applthermaleng.2007.01.032.
- Zhang, H., Arens, E., & Pasut, W. (2011). Air temperature thresholds for indoor comfort and perceived air quality. *Building Research & Information*, 39(2), 134–144. doi:10.1080/09613218.2011.552703.
- Zhang, X. J., Dai, Y. J., & Wang, R. Z. (2003). A simulation study of heat and mass transfer in a honeycombed rotary desiccant dehumidifier, 23, 989–1003. doi:10.1016/S1359-4311(03)00047-4.

10. Anexos

Tabela 18 - Capacidade de vários bocais de spray em função da pressão (Ikeuchi, H & Co., n.d.)

Spray Capacity Code	Spray Angle (°)			Spray Capacity (ℓ/min)									Mean Drop. Dia. (μm)	Free Pass. Dia. (mm)	Strainer Mesh Size
	0.1 MPa	0.2 MPa	0.5 MPa	0.1 MPa	0.15 MPa	0.2 MPa	0.3 MPa	0.5 MPa	0.7 MPa	1 MPa	1.5 MPa	2 MPa			
006	—	—	70	—	—	—	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	130	0.2	200
008	—	—	70	—	—	—	0.09	0.12	0.14	0.16	0.19	0.22	140	0.2	200
010	—	70	65	—	0.09	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.24	0.28	160	0.3	200
012	—	70	65	—	0.10	0.12	0.14	0.18	0.21	0.25	0.29	0.33	190	0.3	200
015	—	70	65	—	0.13	0.15	0.18	0.23	0.26	0.31	0.37	0.42	170	0.3	200
020	60	70	65	0.14	0.17	0.20	0.24	0.30	0.35	0.41	0.49	0.56	5	0.3	200
025	65	70	67	0.18	0.22	0.25	0.30	0.38	0.44	0.51	0.61	0.70	230	0.3	200
030	67	70	68	0.22	0.26	0.30	0.36	0.45	0.52	0.61	0.73	0.83	220	0.4	150
040	67	70	68	0.29	0.35	0.40	0.48	0.60	0.70	0.82	0.98	1.11	5	0.4	150
050	68	70	68	0.36	0.44	0.50	0.60	0.75	0.87	1.02	1.22	1.39	290	0.5	150
060	68	70	68	0.43	0.52	0.60	0.72	0.90	1.05	1.23	1.47	1.67	280	0.5	150
070	68	70	68	0.51	0.61	0.70	0.84	1.05	1.22	1.43	1.71	1.95	5	0.6	150
080	68	70	68	0.58	0.70	0.80	0.95	1.19	1.38	1.61	1.92	2.18	350	0.7	150
100	68	70	68	0.72	0.87	1.00	1.19	1.49	1.72	2.01	2.40	2.72	5	0.7	100
120	68	70	68	0.87	1.05	1.20	1.43	1.79	2.07	2.42	2.88	3.27	5	0.8	50
140	68	70	68	1.01	1.22	1.40	1.67	2.09	2.41	2.82	3.36	3.81	440	0.9	50



- ① Ceramic orifice ② Ceramic closer ③ Packing (PTFE)
 ④ Body ⑤ Spring (S316)
 ⑥ Strainer (S303+S304 or B+S304)

Figura 69 - Dimensões do bocal de spray selecionado (Ikeuchi, H & Co., n.d.)



Figura 70 - Imagem do bocal de spray selecionado (Ikeuchi, H & Co., n.d.)

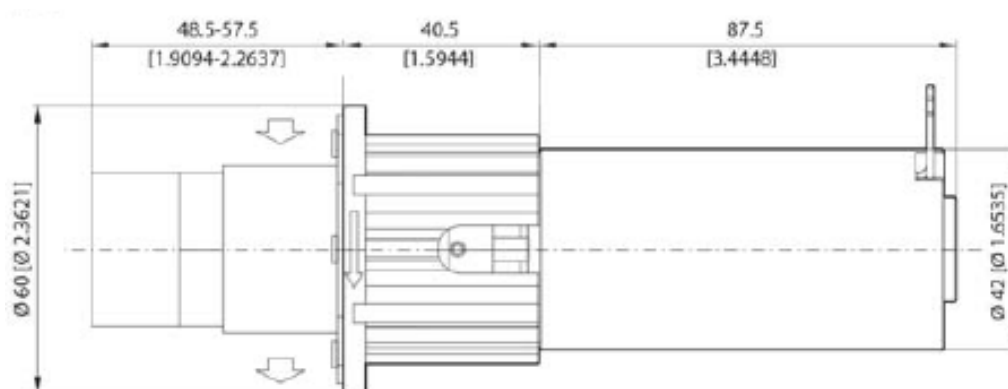


Figura 71 - Dimensões da bomba selecionada (Clark Solutions, n.d.)



Figura 72 - Imagem da bomba selecionada (Clark Solutions, n.d.)

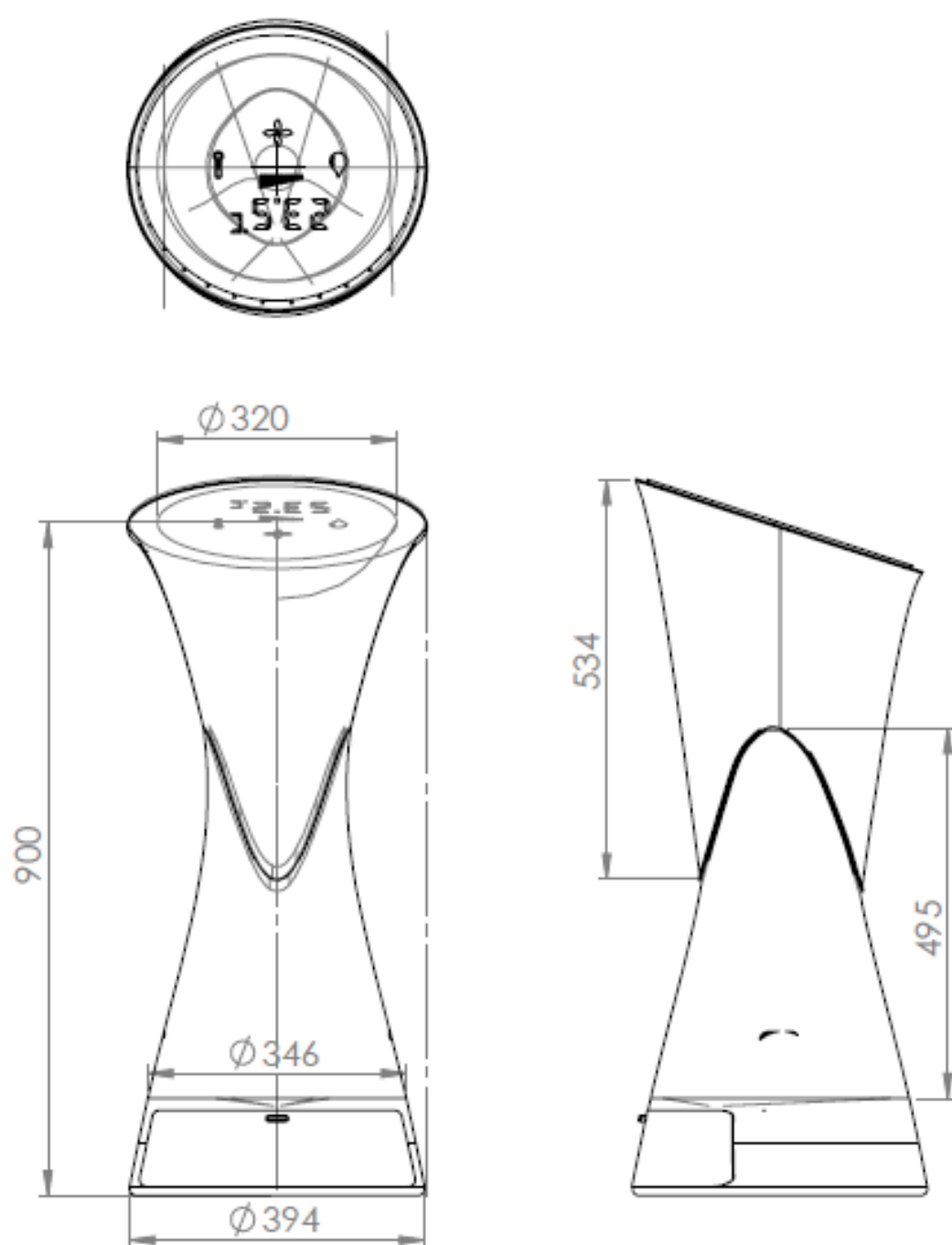


Figura 73 – Dimensões da estrutura

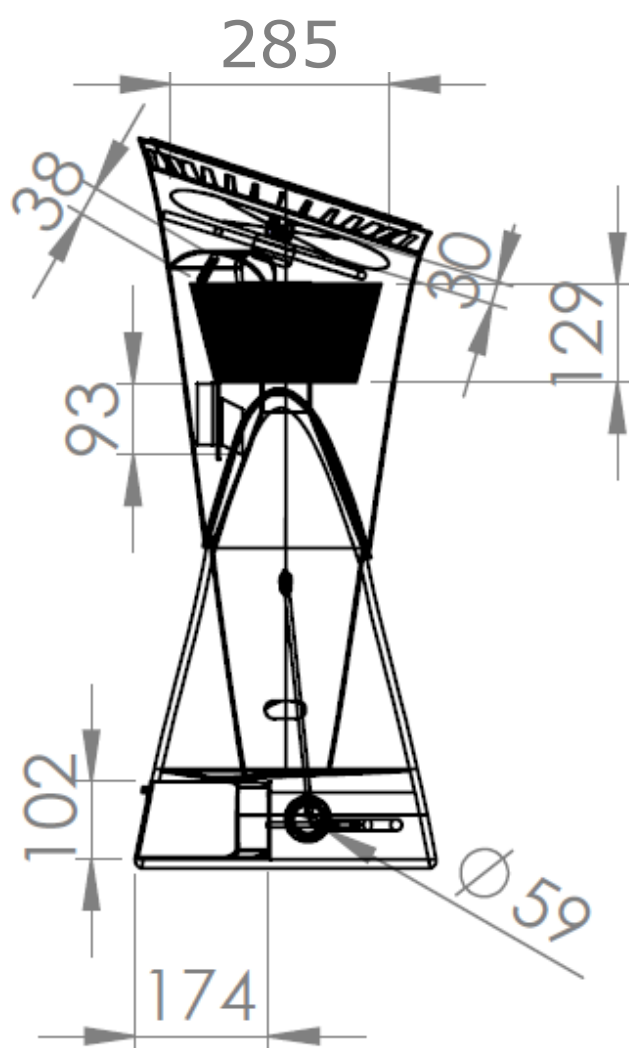
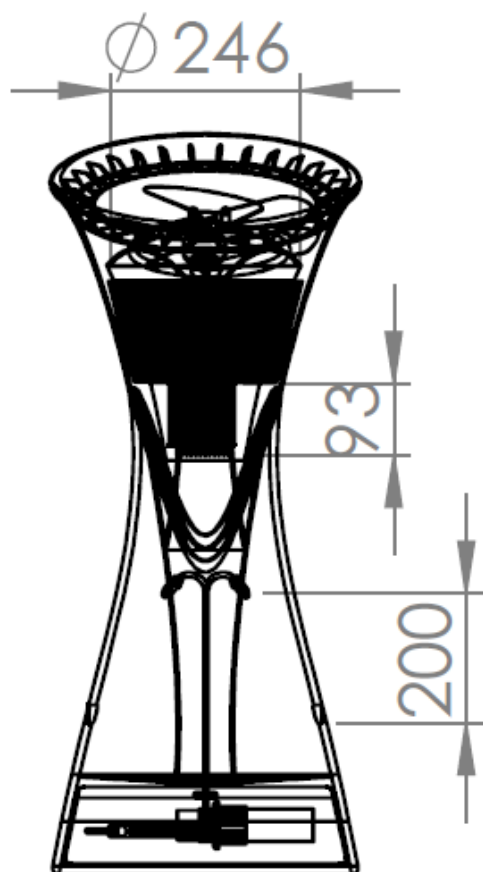
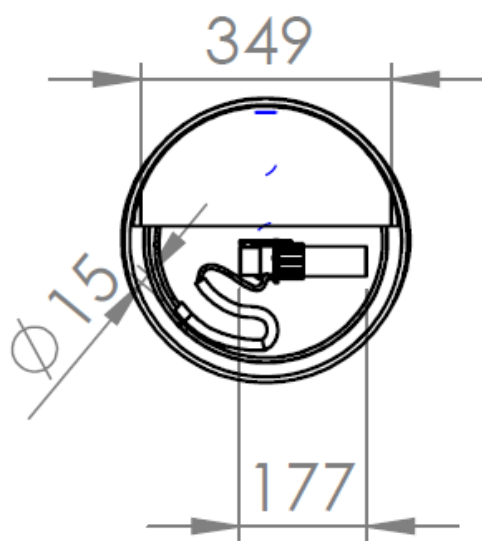


Figura 74 - Dimensões dos componentes